

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 - Strojírenství

Materiály a technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Vliv deformace na změnu tribologických vlastností plechu s povrchovou ochrannou vrstvou Zn-Mg.

Effect of deformation on change of tribological metal plate properties with Zn-Mg protective layer.

Jan Juppa

KSP-TP-B

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.
Konzultant bakalářské práce: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	58
Počet obrázků:	37
Počet tabulek:	16
Počet grafů	11
Počet příloh:	5

Datum: 24.5.2013

Zadání

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program:	B2341 – Strojírenství
Student:	Jan Juppa
Téma práce:	Vliv deformace na změnu tribologických vlastností plechu s povrchovou ochrannou vrstvou Zn-Mg. Effect of deformation on change of tribological metal plate properties with Zn-Mg protective layer.
Číslo BP:	KSP-TP-B
Vedoucí BP:	Ing. Pavel Solfronk, Ph.D. – <i>TU v Liberci</i>
Konzultant BP:	Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D. – <i>TU v Liberci</i>

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá problematikou zjišťování tribologických vlastností u karosářských plechů s novými povlaky Zn-Mg. Téma bylo zadáno s ohledem na požadavky firmy Škoda Auto a.s. Teoretická část popisuje problematiku tribologie, metody zjišťování tribologických vlastností a rozdělení materiálů pro hluboké tažení. V experimentální části jsou realizovány a následně hodnoceny tribologické testy za konkrétních technologických podmínek. Jako hodnotící kritérium výsledků testů je vypočítán koeficient tření.

Abstract:

This bachelor's work applies to survey of tribological properties by car body metal plates with new protective layers based on Zn-Mg. This theme was assigned with regards to specific requirements of Škoda Auto Inc. The theoretical part describes the tribological problematic, methods of tribological properties detection and material separation for deep traction. In the experimental part are the tribological tests in specific condition realized and subsequently evaluated. As test result evaluation criteria the coefficient of friction is calculated.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci 24.5.2013

.....
Jan Juppa
Císařský 225
407 77 Šluknov

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Solfronkovi, Ph.D. a konzultantce Ing. Michaela Kolnerové, Ph.D. za cenné rady a pomoc při řešení problémů, které se vyskytly při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu během celého studia.

Jan Juppa

Obsah:

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	9
1 Úvod	10
2 Teoretická část	11
2.1 Tváření kovů.....	11
2.1.1 Rozdělení podle působení vnějších sil	11
2.1.2 Rozdělení podle působící teploty	11
2.2 Tažení	12
2.2.1 Tažení výlisků karosářského typu	12
2.3 Tribologie.....	13
2.3.1 Kontaktní procesy.....	14
2.3.2 Geometrie povrchu	15
2.3.2.1 Základní parametry geometrie povrchu.....	15
2.3.3 Procesy tření	17
2.3.3.1 Suché tření	17
2.3.3.2 Mezní tření	17
2.3.3.3 Kapalinné tření	18
2.3.3.4 Smíšené tření	18
2.3.4 Procesy mazání.....	18
2.3.4.1 Druhy maziv	19
2.3.4.2 Nanášení maziva.....	20
2.3.4.3 Maziva pro tažení plechů	20
2.3.5 Procesy opotřebení	21
2.3.5.1 Druhy opotřebení.....	21
2.4 Tribologické zkoušky	22
2.4.1 Druhy tribologických zkoušek	22
2.4.1.1 Modelování tření mezi tažnicí a přidržovačem	23
2.4.1.2 Modelování tření na tažné hraně.....	23
2.4.1.3 Modelování vypínání přes tažnou hranu	24



2.4.1.4	Modelování tření mezi přidržovačem tažnicí a tažnou hranou	24
2.5	Materiály pro tváření v automobilovém průmyslu	25
2.5.1	Oceli pro plechy určené k tažení	25
2.5.2	Plechy používané na karosářské výlisky	26
2.5.2.1	Hlubokotažné plechy bez povlaku	26
2.5.2.2	Ocelové plechy s povlaky	26
2.5.2.3	Žárově zinkované plechy HDG (Hot Dip Galvanized)	27
2.5.2.4	Elektrolyticky zinkované plechy EG (Electro Galvanized)	28
2.5.2.5	Plechy s povlakem Zn-Mg	29
3	Experimentální část	32
3.1	Cíle bakalářské práce	32
3.2	Princip měření	32
3.3	Zařízení Sokol 400	33
3.4	Testovaný materiál	34
3.4.1	Statická zkouška tahem	35
3.4.2	Drsnost povrchu	37
3.5	Příprava vzorků pro tribologickou zkoušku	37
3.5.1	Stříhání plechů	38
3.5.2	Vytvoření deformace	38
3.5.3	Odmaštění vzorků	38
3.5.4	Nanesení vrstvy maziva	39
3.6	Podmínky tribologické zkoušky	39
3.6.1	Použitý nástroj	40
3.6.2	Mazivo	40
3.6.3	Kontaktní tlak	41
3.7	Tribologická zkouška protahováním pásku	41
3.7.1	Způsob vyhodnocení zkoušky	42
3.7.2	Ukázkový protokol měření	43
3.8	Naměřené hodnoty	44



3.8.1	Vliv kontaktních tlaků.....	44
3.8.2	Vliv deformace.....	45
3.8.3	Vliv materiálů a použitých čelistí.....	49
4	Rozbor výsledků	53
4.1	Rozbor kontaktních tlaků.....	53
4.2	Rozbor vlivu deformace.....	53
4.3	Rozbor vlivu materiálů a použitých čelistí	54
5	Závěr.....	55
6	Seznam literatury	56
7	Seznam příloh.....	58

Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení	Jednotka	Význam
$A_{80\text{ mm}}$	[%]	tažnost
C		uhlík
EBT		Electron Beam Texturing
EDT		Electric Discharge Texturing
EG		Electro Galvanized
F_b	[N]	brzdná síla
F_h	[N]	maximální síla v ustálené oblasti
F_{\max}	[N]	maximální síla
F_{\min}	[N]	minimální síla v ustálené oblasti
F_N	[N]	normálová síla
F_o	[N]	ohybová síla
F_p	[N]	síla pod přidržovačem
F_s	[N]	střední síla v ustálené oblasti
F_t	[N]	tažná síla
ΔF	[N]	rozkmit síly
HDG		Hot Dip Galvanized
L_n	[mm]	vyhodnocovaná délka
L_r	[mm]	základní délka
LT		Laser Texturing
Mg		hořčík
Mn		mangan
p	[MPa]	kontaktní tlak
P		fosfor
PRETEX		Preussag Texturing
PTFE		polytetrafluorethylen
Q	[N]	normálová přítláčná síla
R	[mm]	poloměr
R_a	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
R_m	[MPa]	smluvní mez pevnosti v tahu
R_p	[μm]	nejvyšší výstupek
RP_c	[cm^{-1}]	počet výstupků
R_{p02}	[MPa]	smluvní mez kluzu v tahu
R_v	[μm]	nejnižší prohlubeň
R_z	[μm]	maximální výška profilu
S		síra
SBT		Shot Blast Texturing
Si		křemík
S_k	[mm^2]	kontaktní plocha
Ti		titan
x_s	[-]	střední směrová hodnota
Zn		zinek
φ	[-]	logaritmická deformace
σ	[MPa]	mechanické napětí
μ	[-]	koeficient tření
α	[rad]	úhel opásání

1 Úvod

V celosvětovém měřítku zaujímá strojírenský průmysl jedno z předních nejproduktivnějších míst a v hospodářství každé vyspělé země má nezastupitelný význam. Jedním z jeho dominantních odvětví je bezesporu automobilový průmysl. V České republice se jedná zejména o firmu Škoda Auto a.s.

Aby byly produkty automobilového průmyslu na trhu žádané a v různých směrech předčily svou konkurenci, je neustále nutné je zdokonalovat a modernizovat. Výrobci přichází s karoseriemi stále složitějších tvarů, na které kladou pořád vyšší nároky. S tím souvisí neustálý dynamický vývoj a výzkum nových materiálů, povrchových úprav a výrobních technologií.

Ve výrobě karosářských dílů se nejvíce používá technologie hlubokého tažení plechu. Díly pro karoserie jsou tvarově složité, mají členitý povrch a nerovnoměrnou hloubku tažení, což proces tažení značně komplikuje. Zvolené technologické parametry, použitý materiál a jeho vhodná povlaková úprava mají zásadní vliv na vlastnosti a jakost výrobku. Jako povlakový materiál se v největší míře uplatňuje zinek, následuje nikl, hliník, hořčík a jejich vzájemné slitiny.

Kromě technologických podmínek a použitého materiálu polotovaru mají na kvalitu finálního výtažku vliv ještě další veličiny. Jedná se především o materiál a jakost povrchu tažného nástroje, druh použitého maziva, vliv okolního prostředí atd. Působením všech těchto vlivů zároveň se zabývá vědní disciplína zvaná tribologie.

Tribologie je poměrně obtížný a obsáhlý vědní obor, na který kladou v dnešní době velký důraz všichni výrobci karoserií, ložisek a dalších strojních součástí. Dobrou znalostí tribologických vlastností a vhodným nastavením jejich parametrů je možné minimalizovat zmetkovitost výroby, zmenšit opotřebení použitých nástrojů a snížit energetickou náročnost výrobního procesu. Následkem toho je eliminování odstávek v sériové výrobě, méně oprav, zvýšení spolehlivosti a tím i velké ekonomické úspory.

Cílem této bakalářské práce je vyhodnocení tribologických vlastností karosářských plechů s novými povlaky Zn-Mg. Porovnávají jsou mezi sebou dva druhy plechu s povlakem Zn-Mg od různých výrobců při deformacích 0, 15 a 30%. Výsledkem měření je posouzení, zda je plech s povlakem Zn-Mg vhodný pro výrobu dílů karoserie a zda vzniklá deformace při tažení ovlivňuje tribologické vlastnosti. Dále se vyhodnocuje, který z obou materiálů je pro hluboké tažení vhodnější.

Vlastní měření je prováděno v laboratořích Katedry strojírenské technologie TUL na zde zkonstruovaném speciálním zařízení SOKOL 400. Toto zařízení umožňuje simulovat tažné podmínky v oblasti mezi tažnicí a přidržovačem.

2 Teoretická část

2.1 Tváření kovů

Tváření je technologický proces, při kterém je materiál plasticky deformován a tím dochází k požadované změně tvaru polotovaru a vzniku výrobku (výkovek, výlisek, výstřižek, protlaček atd.). Podstatou je překročení mechanického napětí na mezi kluzu a následná změna rozměrů bez odebrání třísky. To je vždy spojeno s třením ovlivňujícím průběh procesu. S tvářením souvisí ve většině případů i změna struktury a mechanických vlastností tvářeného materiálu. Jedná se o vysoce produktivní technologii s velkou mírou využitelnosti materiálu a dobrou rozměrovou a tvarovou přesností výrobků. Nevýhodami jsou omezená velikost konečných produktů, potřeba poměrně velkých tvářecích sil a vysoké investice do výrobních zařízení.

Tváření je podle působení vnějších sil možno rozdělit na plošné a objemové a podle působící teploty na tváření za tepla, za studena a za poloohřevu. [1], [2], [3]

2.1.1 Rozdělení podle působení vnějších sil

- Objemové technologie: Materiál je namáhán všestranným tlakem a jeho deformace nastává ve všech třech osách. Jedná se o kování, válcování, protlačování a tažení drátu.
- Plošné technologie: Převládají zde deformace pouze ve dvou souřadných osách. Do této oblasti patří například stříhání, ohýbání a tažení. [1], [2], [3]

2.1.2 Rozdělení podle působící teploty

- Za tepla: Tváření probíhá nad teplotou rekrytalizace, což výrazně usnadňuje celý proces (až desetkrát menší síly než za studena). Vyrábí se jím díly, které za studena nejdou vyrobit. Povrch je ale znehodnocen okujením a dochází ke zhrubnutí zrna. Potřebný ohřev prodražuje a prodlužuje výrobu. Jedná se o technologie válcování, kování nebo tažení drátu.
- Za studena: Tváření probíhá pod rekrytalizační teplotou. Často je nazýváno také lisováním. Během procesu dochází ke zpevnění, které má za následek zlepšení mechanických vlastností. Povrch výrobků je hladký, lesklý a velmi kvalitní. Tyto technologie jsou vysoce produktivní, nedochází u nich k velkým ztrátám materiálu a jsou vhodné pro automatizaci. Řadí se k nejpokrokovějším metodám zpracování kovů. Základními operacemi jsou stříhání, ohýbání a tažení. [1], [2], [3]

2.2 Tažení

Tažení je velmi rozšířená technologická operace, která se provádí za studena. Z rovinných přístřihů plechů a pásů vznikají za působení tlaku prostorové součásti nerozvinutelných tvarů. Zároveň při něm nedochází k výrazné změně tloušťky polotovaru. Tažení se provádí na lisech prostřednictvím nástroje - tažidla. Základními funkčními částmi tažidla jsou tažník, tažnice a přidržovač.

Principem je vtlačování tažníku do dutiny tažnice a současný posuv polotovaru přes tažnou hranu tažnice. Zároveň je plech v oblasti příruby přitlačován přidržovačem, který brzdí posun materiálu a zabraňuje jeho zvlnění. V jednotlivých částech tvářeného dílu se objevují rozdílné stavy napjatosti. Tvářecí síla nesmí překročit mez pevnosti materiálu, aby nedošlo k výrobě zmetků.

Výhodou této technologie je vysoká produktivita, schopnost vytvářet díly rozmanitých tvarů a velikostí (Obr.2.1), výborná přesnost předepsaných rozměrů a kvalitní povrch zhotovovaných výrobků. Příhodná je také poměrně vysoká tuhost při minimální váze součástí. Nevýhodou je, že do procesu tažení vstupuje mnoho vlivů, které mohou výrazně ovlivnit výsledek. Mezi ně patří zejména tlak přidržovače, tažná rychlost, vliv mazání, tření a druh materiálu.

Tažení lze rozdělit na jednooperační a víceoperační, s přidržovačem a bez přidržovače, se ztenčením stěny a bez ztenčení stěny, zpětné tažení, zužování, rozšiřování atd. [1], [2], [3], [4], [5]



Obr.2.1: Předměty vyráběné tažením

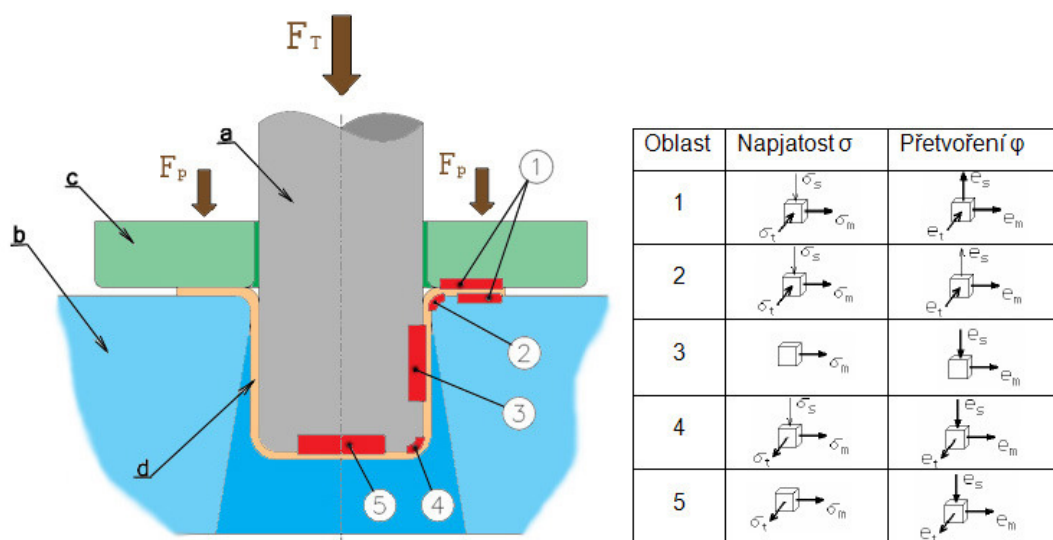
2.2.1 Tažení výlisků karosářského typu

Výroba dílů nepravidelných tvarů pro automobilový průmysl je jednou z nejsložitějších technologických operací. Výlisky mají ve většině případů velké rozměry, nepravidelný tvar, členitý povrch a v různých oblastech výrobku rozdílnou hloubku tažení. Komplikovaností tvaru výtažku vzniká v každém místě výrobku jiný stav rovinné

napjatosti a přetvoření (Obr.2.2). Tyto skutečnosti komplikují optimální nastavení technologických podmínek.

Na rozdíl od hlubokého tažení válcových výtažků je v tomto případě pracnější regulace toku materiálu v oblasti přidržovače. Toho lze docílit např. řízením tažné síly F_t přítláčné síly přidržovače F_p , nebo použitím vhodných brzdících lišt a technologických prolisů. U dílů karosářského typu se musí důkladněji zvážit všechny vlivy vstupující do procesu tváření. Těmi jsou zejména znalost materiálu nástroje i polotovaru (mechanické vlastnosti, chemické složení atd.), drsnost povrchu, použité mazivo a vliv okolního prostředí.

Pro nastavení nejlepších technologických podmínek mnohdy nepomůže ani nejvýkonnější výpočetní technika, tudíž se musí využít laboratorních zkoušek a zkušeností technologů. Častým problémem je také nerespektování technologičnosti tvaru výlisků designérem popřípadě konstruktérem. [1], [2], [3], [4], [5]



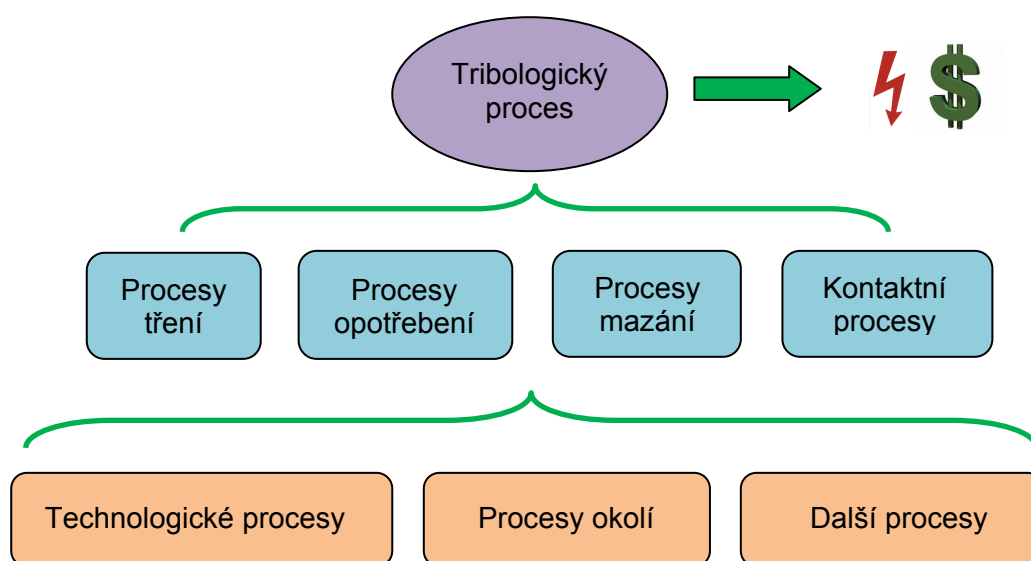
Obr.2.2: Princip tažení a stavy napjatosti v různých místech tvářeného dílu [5]
a-tažník, b-tažnice, c-přidržovač, d-polotovar, 1,2,3,4,5-oblasti

2.3 Tribologie

Pojem tribologie pochází z řeckých slov tribos (tření) a logios (věda). Již název napovídá, že se jedná o vědní obor zabývající se třením a posuzováním vzájemného působení povrchů pevných těles při jejich relativním pohybu. Může se jednat o pohyb kluzný, valivý, rotační, nárazový nebo kmitavý a jejich vzájemné kombinace. Tribologie v sobě zahrnuje vliv materiálů nástroje a polotovaru, mezi kterými dochází ke tření, druh a vlastnosti použitého maziva a okolní vlivy prostředí (Obr.2.3). U materiálů se

posuzují nejen mechanické a chemické vlastnosti, ale také jejich drsnost, tvar, velikost stykových ploch a povrchová úprava.

I když se nejedná o nový vědní obor, je mu v současnosti výrobci věnována stále větší pozornost. Uplatňuje se zejména při lisování plechů, návrhu ložisek, konstrukci pístových strojů, ale třeba také ve vývoji umělých kloubních náhrad. Správné nastavení tribologických parametrů snižuje opotřebení nástrojů, zlepšuje užité vlastnosti, minimalizuje počet oprav a zvyšuje produktivitu. Výsledkem je značné snížení spotřeby energie a úspora finančních nákladů. [5], [6], [7], [8]



Obr.2.3: Vzájemné vazby v tribologickém systému [7]

2.3.1 Kontaktní procesy

Při zkoumání kontaktních vlivů mezi tělesy se musí brát v úvahu hodně parametrů. Nejpodstatnější je počet zúčastněných těles, jejich tvar, rozměry a vazby, kterými na sebe plochy působí. Dále jsou důležité mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti stýkajících se materiálů, mikrogeometrie jejich povrchů, rychlost vzájemného pohybu a druh deformace mezi tělesy.

Kontaktní vlivy mají za následek materiálové, velikostní a tvarové změny povrchové oblasti, změnu mikrostruktury a vznik oxidů. To vše bývá doprovázeno zvýšením teploty. V praxi má velký význam plocha styku zajišťující přenos pohybu. Nerozhoduje zde však geometrická plocha, ale skutečná plocha styku, která bývá menší. Podle tvaru se kontakt rozlišuje na souhlasný a nesouhlasný. Souhlasný kontakt má tvar dotykové plochy a u nesouhlasného dochází k bodovému nebo čárovému kontaktu. [5], [6], [8]

2.3.2 Geometrie povrchu

Při výrobě polotovarů a nástrojů pro technologii tažení působí velký počet vlivů, které vytváří různou geometrii povrchu. Reálné povrchy jsou zvlněné a mají úchyly tvaru a drsnosti. Správná geometrie a rozměrové tolerance mají důležitý význam při procesu tažení.

Požadovaný povrch by měl být schopen přenášet velké tvářecí tlaky bez jeho porušení nebo vzniku tvarových nepřesností. Dále by jeho drsnost měla být taková, aby byla schopna zadržet optimální množství maziva, které by usnadnilo proces tažení a zamezilo poškození struktury materiálu. Kvalita povrchu určuje vzhled povrchu tvářeného dílu a je zásadní pro jeho lakovatelnost. Kvalita laku je prvním faktorem ovlivňujícím zákazníka při výběru produktu a proto není divu, že výrobci karoserií věnují stále větší pozornost kvalitě povrchu plechů.

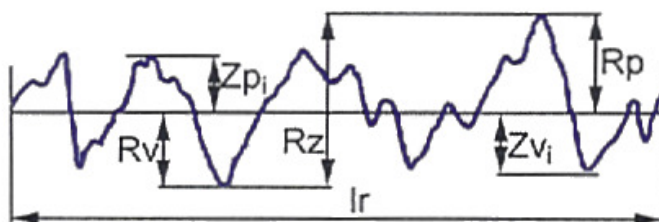
S prudkým nárůstem zpracování karosářských plechů se začaly vyrábět polotovary se zvláštní morfologií povrchu. Zvláštní morfologie povrchu se dosáhne použitím texturovacích válců, jejichž povrch je opracován technologiemi SBT, EDT, EBT, LT nebo PRETEX. [5], [9], [10]

2.3.2.1 Základní parametry geometrie povrchu

Proces hodnocení povrchu je velmi složitý a je u něj potřeba neustále prohlubovat dosavadní poznatky. Nyní se kvalita povrchu klasifikuje pomocí příslušných norem (DIN EN ISO 4287), které hodnotí charakteristiku povrchu ve 2D. Plošný náhled ale přestává být v tribologii dostačující, proto se v současnosti začínají povrchy hodnotit ve 3D. [5], [9], [10]

Při hodnocení drsnosti povrchu se měří tyto parametry:

- Maximální výška profilu R_z – je definována jako součet nejvyššího výstupku R_p a nejnižší prohlubně R_v na základní délce L_r . Schematické znázornění je na obr.2.4.



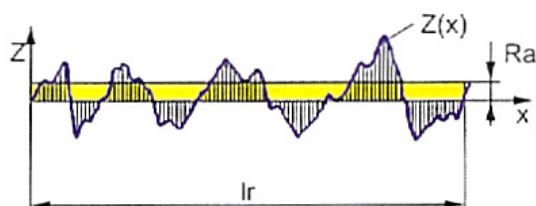
Obr.2.4: Schematické znázornění maximální výšky profilu R_z [10]

- Střední aritmetická hodnota drsnosti R_a – je definována jako aritmetický střed absolutních odchylek profilu drsnosti od střední čáry na základní délce L_r . Schematické znázornění je na obr.2.5. Velikost R_a se určuje ze vztahu (1).

$$R_a = \frac{1}{L_r} \int_0^{L_r} |Z(x)| dx \quad (1)$$

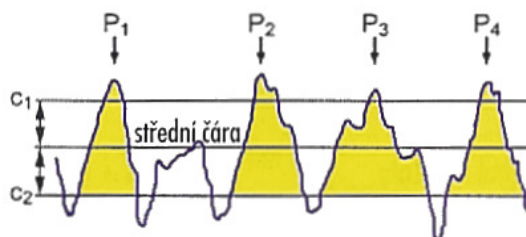
R_a ...střední aritmetická drsnost [μm]

L_r ...délka měřené drsnosti [m]



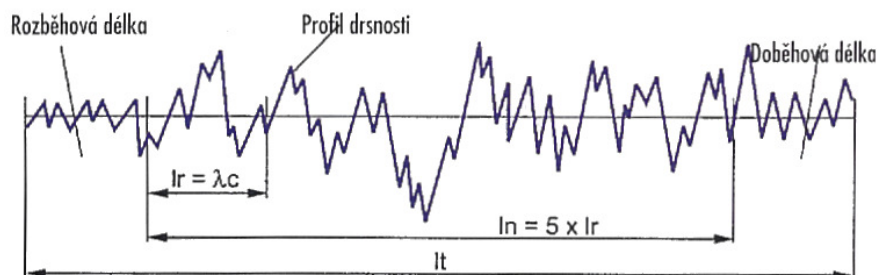
Obr.2.5: Schematické znázornění střední aritmetické hodnoty drsnosti R_a [10]

- Počet výstupků RP_c [1/cm] – je definován jako počet výstupků na 10 mm vztážené délky. Pro vyhodnocení musíme zadat hladiny řezu C_1 a C_2 . Schematické znázornění na obr.2.6.



Obr.2.6: Schematické znázornění počtu výstupků RP_c [10]

- Mezní vlnová délka – určuje vlnitost plechu a související tvarové úchyly. Vyhodnocovaná délka L_n pro parametry drsnosti sestává z pěti základních délek L_r . Schematické znázornění je na obr.2.7.



Obr.2.7: Schematické znázornění mezní vlnové délky [10]

2.3.3 Procesy tření

Tření je fyzikální jev vznikající při vzájemném pohybu dvou těles, která se vzájemně dotýkají. Při procesu se vytváří třecí síla, která působí vždy proti pohybu a způsobuje ztrátu mechanické energie. Ztrátová energie se projevuje zvýšením teploty v místě dotyku. K tření dochází mezi pevnými látkami, ale též mezi kapalinami a plyny.

Při tažení plechů působí procesy tření jako negativní vliv. Následkem je horší průběh deformace, opotřebení nástroje a potřeba vyšších tvářecích sil, s čímž souvisí použití výkonnějších strojů a větší spotřeba energie.

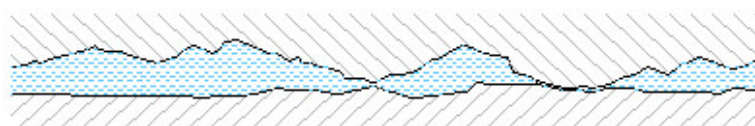
Podle základního tribologického modelu se tření rozděluje do čtyř základních stavů. Jedná se o suché, smíšené, mezní a kapalinné tření. [5], [10], [11]

2.3.3.1 Suché tření

Suchým třením nazýváme stav, kdy se pohybující tělesa vzájemně stýkají bez použití jakéhokoliv maziva. K tření dochází na vrcholcích nerovností obou styčných ploch, kde dochází k plastické deformaci a jejich následnému svařování. Vzniklá svarová spojení se při posuvu materiálu opět přerušují. Závisí též na geometrii povrchů, na chemickém složení atd. Při tažení je tento jev samozřejmě negativní a během procesu se nesmí vyskytnout. [5], [10], [11]

2.3.3.2 Mezní tření

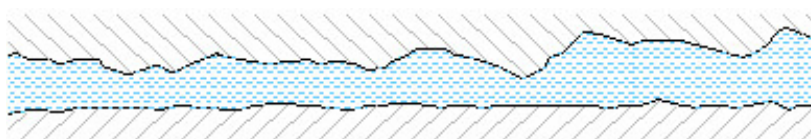
Vzniká, když se třecí plochy k sobě přiblíží natolik, že jejich dotyku brání jen velmi tenká vrstva maziva. Tato vrstva se nazývá mezní vrstva a tvoří ji pouze adsorbované molekuly kapaliny nebo plynu s velkou přilnavostí k danému povrchu. Povrchy však od sebe nedokáže oddělit úplně a k tření dochází na vrcholcích nerovností povrchů. Neodstraňuje tak vliv drsnosti. V praxi se mezní tření (Obr.2.8) objevuje tam, kde působí velké tlaky na malou stykovou plochu při nízkých smykových rychlostech. [5], [10], [11]



Obr.2.8: Mezní tření [5]

2.3.3.3 Kapalinné tření

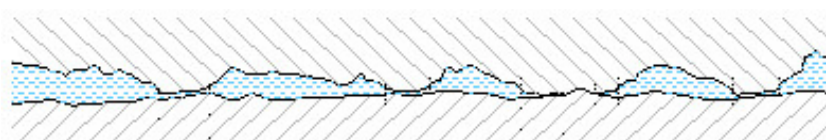
Nazýváno též hydrodynamické tření (Obr.2.9). Při tomto druhu tření jsou od sebe třecí povrchy dokonale odděleny souvislou vrstvou maziva. Vrstva tak zcela vyrovnává drsnost povrchů a ke tření dochází právě v ní. Třecí síla je závislá pouze na velikosti vnitřního tření ve vrstvě maziva. Aby se vytvořil souvislý film a byl schopný přenést příčinné zatížení, je v něm potřeba vyvolat dostatečný protitlak. Toho lze docílit hydrostaticky, když se do místa mazání nuceně přivede adekvátní množství maziva, nebo hydrodynamicky, kdy se tlak v mazací vrstvě vytváří samočinně, například klínovou mazací mezerou. [5], [10], [11]



Obr.2.9: Kapalinné tření [5]

2.3.3.4 Smíšené tření

Smíšené tření (Obr.2.10) je kombinací kapalinového a mezného tření. Dochází k němu, jestliže tloušťka maziva mezi povrchy je menší než tloušťka potřebná k vzniku kapalinového tření, ale je větší než tloušťka filmu zajišťující mazání mezní. Vzniká především při velkém zatížení a malé smykové rychlosti třecích ploch. Podstatný význam má také mikrogeometrie funkčních ploch. Při tváření dílů karosářského typu se vyskytuje smíšené tření nejčastěji. [5], [10], [11]



Obr.2.10: Smíšené tření [5]

2.3.4 Procesy mazání

Vhodné mazání je důležitý faktor, ovlivňující celý proces tváření. Maziva zabraňují vzniku kovového styku mezi materiálem nástroje a vylisku. Zároveň snižují součinitel smykového tření a tím i velikost tvářecí síly a energetickou náročnost. Plní antikoroziční funkci a chrání nástroj před opotřebením a polotovár před otěrem. Mazivo výrazně ulehčuje tváření a některé operace bez něj nejsou vůbec uskutečnitelné. [6], [10], [11], [12]

Nelze jasně tvrdit, že některé mazivo je dobré a jiné horší. Může se jen konstatovat, že jedno mazivo se hodí pro konkrétní operaci více a druhé méně. Volba vhodného maziva je velmi důležitá a pro jeho správnou funkci je potřeba vybírat důkladně. Správné mazivo by mělo být schopno vytvořit pevný a souvislý film a mít dobrou mazací schopnost. Důležitá je též elektrická vodivost, chemická odolnost vůči jiným látkám a odolnost proti teplotním vlivům. V současnosti se klade stále větší pozornost na zdravotní a ekologickou nezávadnost olejů a na jejich cenu.

Při tvářecích technologiích se používá velké množství maziv rozmanitých značek a výrobců. Lze je rozčlenit například podle skupenství, chemického složení nebo jejich funkce. [6], [10], [11], [12]

2.3.4.1 Druhy maziv

Maziva se klasifikují podle skupenství na:

- Kapalná: jsou nejrozšířenější maziva, mají nízkou viskozitu a dobrou smáčivost kovových předmětů. Patří sem ropné a syntetické oleje, živočišné a rostlinné oleje, emulze, suspenze atd.
- Plastická: kapalné mazivo je zahuštěno zpeňovadlem, které zvýší viskozitu a způsobí plastické schopnosti. Patří sem mazací tuky, živočišné tuky a vazelíny.
- Pevná: používají se při extrémních podmínkách (vysoká teplota a tlak). Při tváření se ale využívají jen velmi zřídka. Patří sem například grafit, disulfidy, diselenidy nebo některé plasty (PTFE).
- Plynná: např. atmosféra dusíku nebo oxidu uhličitého.

Podle jejich funkce se dají rozdělit na:

- Technologická (jednofunkční): plní pouze technologickou funkci, aby proces probíhal správně a snadno. Mazadlo se nanese na polotovar těsně před tvářením a jen na určené plochy.
- Konzervační (dvoufunkční): plní především funkci antikorozní, ale zároveň také funkci technologickou. Mazadlo je nanášeno na polotovar již ve válcovně.
- Prací oleje: pomocí nich se odstraní (operou) veškeré nečistoty a vrstva konzervačního oleje z huti a navíc zůstane plech pracím olejem ošetřen.

2.3.4.2 Nanášení maziva

Mazivo se podle typu nanáší buď na povrch celého polotovaru už ve válcovně, nebo pouze na místa, kde dochází k bezprostřednímu styku dvou ploch. Správný druh maziva, tloušťka vrstvy a její kontinuita má zásadní vliv na proces tváření a na kvalitu výrobku. V praxi se maziva nanáší třemi základními způsoby:

- Nástřikem - mazací zařízení dopravuje a pomocí trysek rozstříkuje mazivo na povrch polotovaru. Nástřikem se nanáší pouze maziva s nízkou viskozitou.
 - Válečkem - váleček je dutý čep opatřený otvory a potažený plstí. Mazivo je přivedeno dovnitř čepu, odkud se rozvede a vsákne do plsti. Mazání probíhá při odvalování válečku po polotovaru a používá se u mazadel, která nelze nanášet nástřikem.
 - Praním - proces praní pomáhá odstranit z polotovaru veškeré nečistoty a vrstvu konzervačního oleje z válcovny. Na konci praní je povrch plechu čistý a opatřený vrstvou pracího oleje. Provádí se na tzv. „pracích strojích“.
- [6], [10], [11], [12]

2.3.4.3 Maziva pro tažení plechů

Pro tažení se používá velkého množství maziv. Aby mazivo plnilo správně svou funkci, musí se vybírat s rozvahou. Především se berou v úvahu měnící se podmínky během samotného tažení. [10], [11], [12]

Maziva pro tažení jsou většinou oleje, do kterých se navíc přidávají vysokotlaké přísady pro zlepšení mazacích vlastností. Jedná se především o syntetické ropné oleje nebo rostlinné a živočišné oleje. Nejčastěji se používají tato mazadla:

- Prací olej - olej určený k čištění plechu před lisováním, ale má i vhodné vlastnosti oleje pro tažení. Nanáší se při mechanickém čištění plechu pracím válcem. Množství mazadla na materiálu je $1,5 \text{ g/m}^2$.
- Prelube - kombinace konzervačního oleje a oleje určeného pro tažení. Je nanášen již u výrobce plechu v elektrostatickém poli 80-120 kV a při teplotě 50 až 60 °C. Množství mazadla na plechu je okolo $1,5$ až 2 g/m^2 .
- Tažné oleje - oleje určené přímo pro tažení. Aplikuje se tryskou na kritických místech výlisku, kde je potřeba lokálního přimazávání. Množství naneseného maziva je 2 až $2,5 \text{ g/m}^2$.

2.3.5 Procesy opotřebení

Opotřebení je proces, který způsobuje odstraňování nebo přemísťování materiálu z třecích ploch při jejich přímém styku nebo při kontaktu s použitým mazivem. Jedná se o trvalou a nežádoucí změnu povrchu nebo tvaru pevných těles, která může vést až k jejich trvalému poškození. [6], [8], [13], [14]

Existuje několik základních mechanismů vzniku opotřebení, při kterých dochází k odnosu částeczek materiálu, vzniku vtisků, drážek a rýh až k samotnému svaření kluzných povrchů. Jedná se o opotřebení změnou tvaru, zadíráním a odnosem materiálu. Tyto mechanismy se v praxi objevují většinou v jejich vzájemné kombinaci, ale vždy jeden typ dominuje.

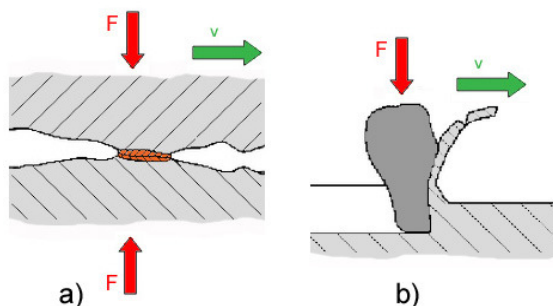
Opotřebení kluzných dvojic se zjišťuje pomocí laboratorních zkoušek. Provádí se na modelech, kde se mění zkušební podmínky a tím hodnotí druh a velikost opotřebení. Na tyto zkoušky se ale není možné úplně spolehnout a nadále se využívá zkušeností z praxe.

Průzkumy ukazují, že v 80% případů jsou hlavní příčinou poškození strojních součástí a zařízení procesy opotřebení. Vhodné protiopatření a dostatečné znalosti mechanismů vzniku jsou schopny tyto vlivy podstatně omezit. [6], [8], [13], [14]

2.3.5.1 Druhy opotřebení

V praxi se setkáváme se šesti základními druhy opotřebení, jedná se o adhezivní, abrazivní, erozivní, kavitační, únavové a vibrační. Při procesu tažení však mají zásadní vliv jen adhezivní a abrazivní formy opotřebení:

- Adhezivní opotřebení (Obr.2.11a) - je charakteristické oddělováním a přemísťováním částic kovu mezi dvěma stykovými plochami. Důsledkem relativního pohybu nerovných povrchů dochází k porušování povrchových vrstev materiálů. Výrazné snížení opotřebení lze docílit dostatečným mazáním, snížením jmenovitého tlaku nebo použitím vhodných materiálů. [6], [8], [13], [14]
- Abrazivní opotřebení (Obr.2.11b) - vzniká oddělováním částic z povrchu jednoho tělesa působením tvrdého a drsného povrchu druhého tělesa. Uvolňují se tvrdé abrazivní částice, které vniknou mezi dva pohybující se povrchy a tím vznikají rýhy. Velikost opotřebení můžeme měřit jako ztrátu hmotnosti tělesa. Objevuje se na brzdných kotoučích a destičkách nebo v pohybových šroubech. [6], [8], [13], [14]



Obr.2.11: Adhezivní a abrazivní opotřebení [13]

2.4 Tribologické zkoušky

K posouzení tribologických vlastností, zahrnujících procesy tření, opotřebení a mazání vznikla celá řada experimentálních zkoušek. Tribologické zkoušky jsou v principu jednoduché, ale složitější je aplikovat naměřené výsledky na konkrétní výrobek. Provádějí se v laboratořích na zkušebních zařízeních a ve zvláštních případech také přímo ve výrobním procesu.

Zkoumání tribologických vlastností je velmi složitý problém, protože do systému vstupuje velké množství vlivů. Ty působí současně, proto je potřeba na problém pohlížet komplexně. Při tažení je nejdůležitější koeficient tření a velikost tažné síly, kterou ovlivňuje velikost přítláčné síly, typ maziva a jeho vlastnosti, mechanické vlastnosti materiálů, drsnost povrchu nástroje a polotovaru a v neposlední řadě také rychlost tváření. Z důvodu složitosti systému bývají zkoušky časově a finančně náročné.

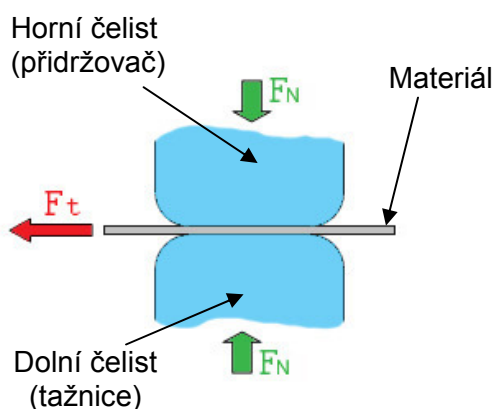
Význam tribologických zkoušek se v současnosti zvyšuje, protože se výrobci stále více snaží produkci zefektivnit a ušetřit vynaložené prostředky. Jsou významné při tvářecích a obráběcích technologiích a při konstrukci ložisek, vedení atd. Jejich nevýhodou je, že se většinou jedná o zkoušky technologické, které mají úzký okruh použitelnosti a jejich výsledky se nedají s výsledky z ostatních pracovišť jednoduše porovnat. [5], [6], [15]

2.4.1 Druhy tribologických zkoušek

Zkoušek pro zkoumání a hodnocení tribologických vlastností byla vyvinuta celá řada. Rozlišují se podle toho, co mají zkoušky simulovat. Může se například modelovat tření mezi nástrojem a materiálem u obráběcích a tvářecích technologií. Existují ale také metody pro simulaci provozu pohyblivých strojních součástí. K tomu se používají metody Pin-on-Disc nebo Fretting Test. Pro konkrétní případ se vybírá zkouška, která se skutečnému ději nejvíce podobá a je nejvhodnější. [5], [6], [15]

2.4.1.1 Modelování tření mezi tažnicí a přidržovačem

Tato zkouška (Obr.2.12) patří díky své jednoduchosti k jedné z nejrozšířenějších. Podstata spočívá v protahování pásku testovaného materiálu mezi zkušebními čelistmi zařízení. Pomocí zkoušky lze snadno změřit velikost třecí síly a následně vypočítat koeficient tření (2). Nastavuje se rychlost protahování a velikost zatížení čelistí. Nevýhodou této metody je, že napjatost testovaného materiálu je odlišná od reálné napjatosti materiálu pod přidržovačem. Také velikost plastické deformace není taková, jako se běžně vyskytuje při tažení. [5], [6], [15]



$$\mu = \frac{F_t}{2 * p * S_k} \quad (2)$$

μ ...součinitel tření [-]

F_t ...tažná síla [N]

F_N ...normálová síla [N]

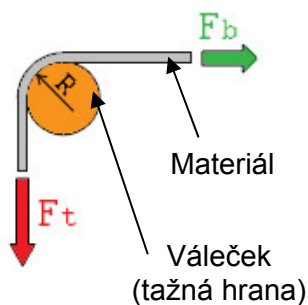
p ...kontaktní tlak [Pa]

S_k ...kontaktní plocha [mm²]

Obr.2.12: Modelování tření mezi tažnicí a přidržovačem [15]

2.4.1.2 Modelování tření na tažné hraně

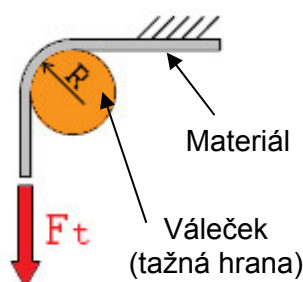
Při zkoušce (Obr.2.13) se zkušební vzorek táhne konstantní rychlostí přes váleček daného poloměru R. Váleček v tomto případě simuluje tažnou hranu tažnice nástroje. Pro vyhodnocení zkoušky je nejdůležitější koeficient tření μ a velikost tažné síly F_t . Velikost tažné síly závisí na velikosti brzdící síly F_b , délce styku vzorku s povrchem válečku a mechanických vlastnostech materiálu. Koeficient tření se vypočte ze síly potřebné k ohybu a následnému narovnání vzorku přes váleček. Nevýhodou je špatná kontrola kontaktního tlaku mezi zkoušeným materiálem a válečkem. [5], [6], [15]



Obr.2.13: Modelování tření na tažné hraně [15]

2.4.1.3 Modelování vypínání přes tažnou hranu

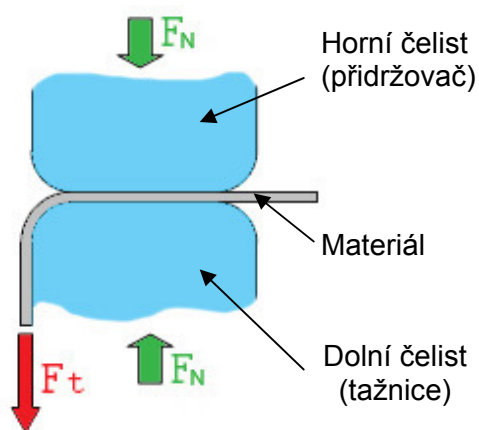
Princip zkoušky (Obr.2.14) je podobný jako při modelování tření na tažné hraně, jen s tím rozdílem, že je zde vzorek na jednom konci pevně ukotven. Druhý konec vzorku se pohybuje konstantní rychlostí. K posouzení tribologických poměrů slouží velikost tažné síly potřebné k dosažení zvolené deformace. Vzniklá deformace se velice podobá deformaci vzniklé na čele tažníku při tažení. Výhodou je jednoduché nastavení rychlosti protahování. Nevýhodou se stává obtížná regulace kontaktního tlaku a kluzné rychlosti na ploše válečku. [5], [6], [15]



Obr.2.14: Modelování vypínání přes tažnou hranu [15]

2.4.1.4 Modelování tření mezi přidržovačem tažnicí a tažnou hranou

Principem zkoušky (Obr.2.15) je kombinace výše uvedených metod modelování. Zaujímá v sobě všechny výhody i nevýhody s nimi související. Při vyhodnocování zkoušky je nejdůležitější velikost tažné síly, která je zapotřebí k protažení pásku. Tažná síla se vypočítá ze vztahu (3). Koeficient tření se určí právě z tažné síly. [5], [6], [14]



Obr.2.15: Modelování tření mezi tažnicí, tažnou hranou a přidržovačem [15]

$$F_t = F_o + F_p * e^{\alpha\mu} \quad (3)$$

F_t ...tažná síla [N]

F_N ...normálová síla [N]

F_o ...ohybová síla na tažné hraně [N]

F_p ...třecí síla pod přidržovačem [N]

α ...úhel opásání [rad]

μ ...koeficient tření na tažné hraně [-]

2.5 Materiály pro tváření v automobilovém průmyslu

Při výrobě karosérie automobilu se používá velké množství různých materiálů. Použití jednotlivých materiálů se odvíjí od jejich vlastností. Při výběru vhodného materiálu je potřeba brát v úvahu hodně vlivů. Materiály musí být bezpečné, dobře zpracovatelné, levné a také lehké.

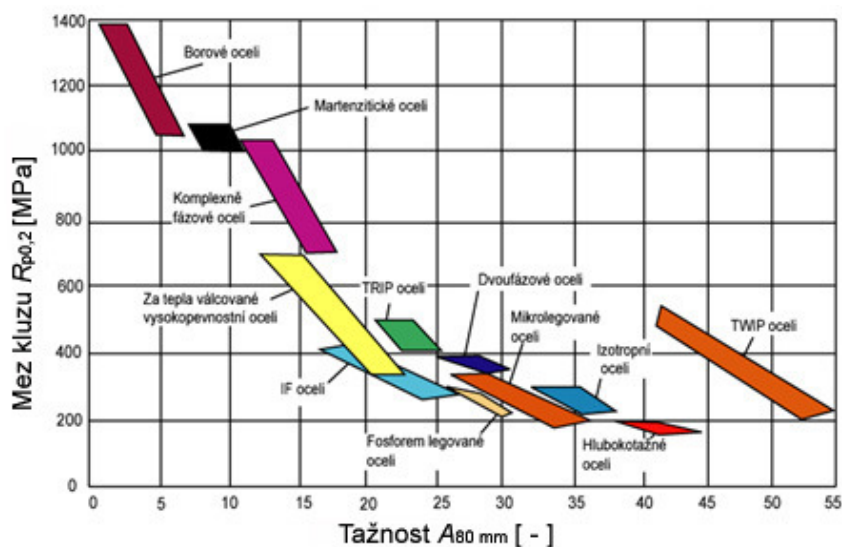
V současnosti se některé automobilky snaží vyrobit karoserie s co nejnížší hmotností a používají proto různé slitiny hliníku nebo hořčíku. Úspora hmotnosti není ale srovnatelná s vynaloženými náklady, proto se vyrábějí jen v omezených sériích. Ve speciálních případech se používají plasty, kompozitní a sendvičové materiály. Pro svou nízkou cenu a dobré zpracovatelské vlastnosti však zůstává nepoužívanějším materiálem při stavbě karoserie ocelový plech.

Výrobci automobilů kladou v současné době na zpracovávané materiály nejvyšší nároky. Investují do jejich vývoje nemalé náklady a tím vznikají úplně nové typy materiálů a ty současné se nadále zdokonalují. [5], [10], [16], [17], [18]

2.5.1 Oceli pro plechy určené k tažení

Ocelí používaných pro výrobu plechů existuje velké množství (Obr.2.16). Jedná se převážně o nízkouhlíkové oceli s minimálním obsahem legujících prvků. Základní složky těchto ocelí tvoří ferit a cementit. Oceli mají mít ideální poměr mezi tažností a mezí kluzu. Vylepšení jejich vlastností a stability se dosahuje mikrolegováním hliníkem, titanem, vanadem nebo borem. Větší obsah uhlíku komplikuje proces tažení.

Oceli pro tažení se dělí na běžné a vysokopevnostní. Pro každý výrobek a jeho použití je vhodný jiný druh oceli. V současnosti se při výrobě karoserií, kvůli zlepšení bezpečnosti posádky, stále více využívá vysokopevnostních ocelí. [5], [16], [17], [18]



Obr.2.16: Druhy ocelí a hodnoty jejich mechanických vlastností [18]

2.5.2 Plechy používané na karosářské výlisky

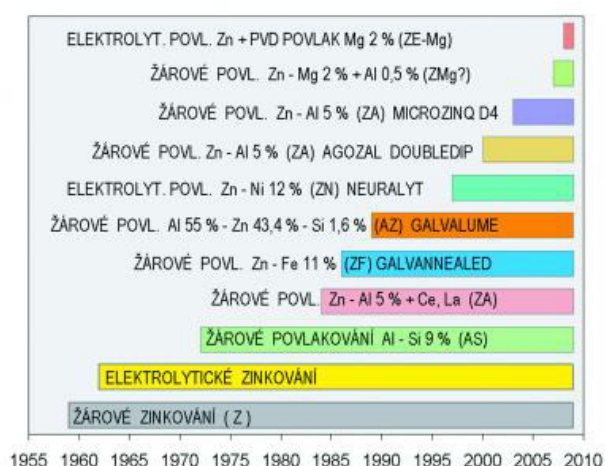
Plechy pro karosářské výlisky se vyrábí válcováním za studena. Vyznačují se výbornou tvářitelností, vysokou kvalitou povrchu a dobrou rozměrovou přesností. Při výrobě procházejí plechy přes texturovací válce, které mění morfologii jejich povrchu a materiál se upravuje pro pozdější tváření nebo aplikaci kovových povlaků. Klasické nízkouhlíkové ocelové plechy se při výrobě karosérie dnes používají jen výjimečně. Nejvíce se využívají plechy s kovovými povlaky a to hlavně díky zlepšené protikorozi ochraně. Plechy jsou z válcoven dodávány ve formě pásů, svitků a tabulí. [5], [16], [17], [18]

2.5.2.1 Hlubokotažné plechy bez povlaku

Výhody těchto materiálů jsou dobrá pevnost, tažnost, svařitelnost, ale hlavně nízká pořizovací cena oproti jiným používaným materiálům. Nevýhodou je špatná odolnost proti korozi a s tím související nízká životnost. Standardní hlubokotažné ocelové plechy bez povlaku jsou při stavbě karoserie dnes již překonány a používají se jen minimálně. Byly nahrazeny vyspělejšími, převážně povlakovanými ocelovými plechy. [5], [16], [17], [18]

2.5.2.2 Ocelové plechy s povlaky

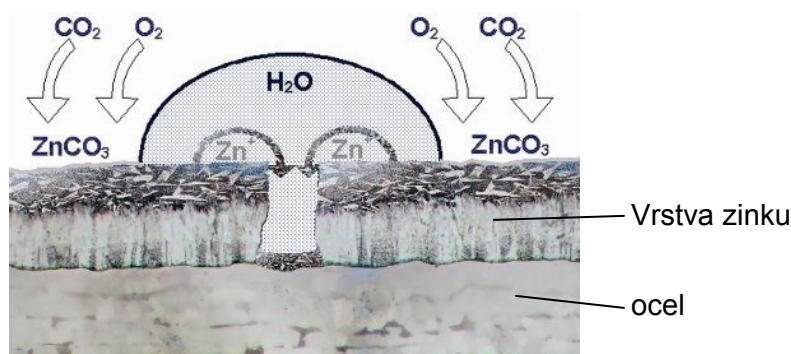
Jsou to nejpoužívanější materiály při výrobě karoserií. Jedná se především o plechy s kovovými povlaky na bázi čistého zinku, ale také zinku s legurami hliníku, hořčíku nebo křemíku (Obr.2.17). V současnosti se díky svým dobrým antikorozním vlastnostem začínají prosazovat povlaky Zn-Mg. [5], [16], [17], [18]



Obr.2.17: Historický vývoj kovových povlaků [19]

Zinek má dobré protikorozi a elektrochemické vlastnosti a je také vhodný pro svou nízkou pořizovací cenu. Způsob, kterým chrání ocel proti korozi, je dán jeho

fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Zinek při vodivém kontaktu se železem při ovlhčení působí jako obětovaná anoda. Důležitá je jeho schopnost se pasivovat (Obr.2.18). Zinek při kontaktu s atmosférou okamžitě oxiduje a na jeho povrchu se vytváří vrstva oxidu zinečnatého. Tato vrstva má dobrou chemickou odolnost.



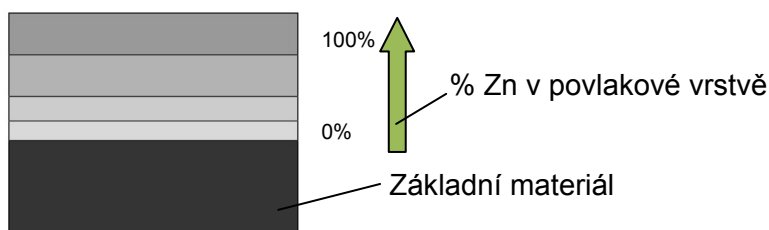
Obr.2.18: Pasivace a katodická ochrana [20]

Nevýhodou plechů s kovovými povlaky je zhoršení kvality při průběhu lisování, kdy může dojít k zadírání nebo stírání povlaku.

Kovové povlaky se podle potřeby nanášejí na jednu nebo obě strany plechu. Pro jejich správnou funkčnost se nanášejí na vhodně upravený a kovově čistý materiál. Nejběžnější způsoby nanášení kovových povlaků jsou žárové zinkování a elektrolytické zinkování. [5], [16], [17], [18], [20]

2.5.2.3 Žárově zinkované plechy HDG (Hot Dip Galvanized)

Žárově pozinkované materiály se vyrábí namáčením ocelových plechů ve formě tabulí nebo pásů do tekutého zinku o teplotě cca od 430 do 740 °C. Dochází k metalické reakci mezi železem a zinkem a vytváří se kovový povlak o tloušťce 7 až 200 μm. Procento zinku v povlaku roste od základního materiálu směrem k povrchu (Obr.2.19). Průběh a výsledek reakce je ovlivněn celou řadou faktorů, které není možné nějak ovlivnit, proto lze tloušťku povlaku žárového zinku řídit jen velmi omezeně. Používá se suchý, mokrý a speciální způsob žárového zinkování. [5], [16], [17], [18]

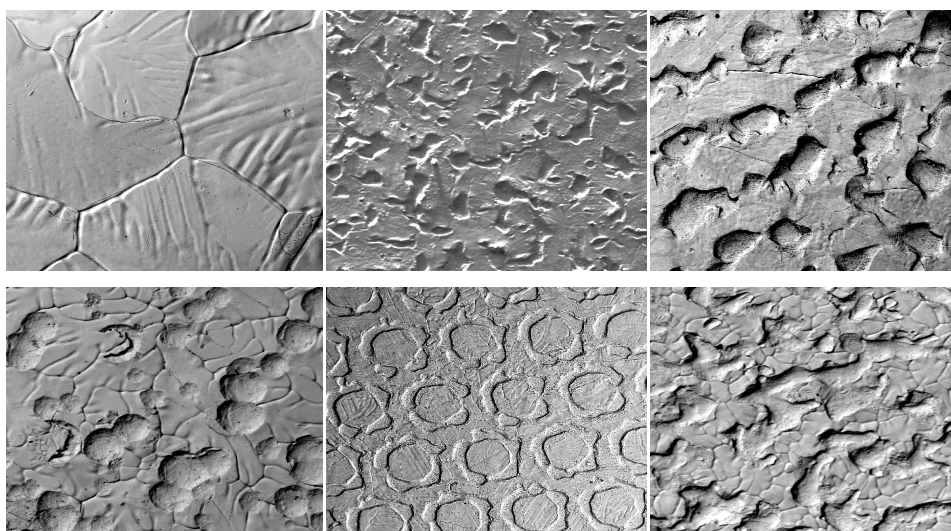


Obr.2.19: Žárově zinkovaná vrstva [5]

HDG povlaky jsou velmi rozšířené hlavně díky výborné protikorozi ochraně a jednoduchosti výroby. Plechy mají dobrou jakost a mohou se vyrábět s různými morfologiemi povrchu (Obr.2.20). Navíc při tváření nedochází k popraskání povlaku, protože zinek je dostatečně pružný.

Nevýhodou je, že při průchodu zinkovou lázní dochází k tepelnému ovlivnění materiálu. Mění se mechanické vlastnosti, povrchová vrstva zinku bývá hrubá a tvrdší. To lze odstranit předválcováním před samotným tvářením.

Tyto plechy se používají při výrobě objemných dílů, složitých tažených součástí a pohledových karosářských dílů. Velikost pozinkovaných polotovarů není neomezená, ale závisí na velikosti pozinkovací vany. [5], [16], [17], [18]

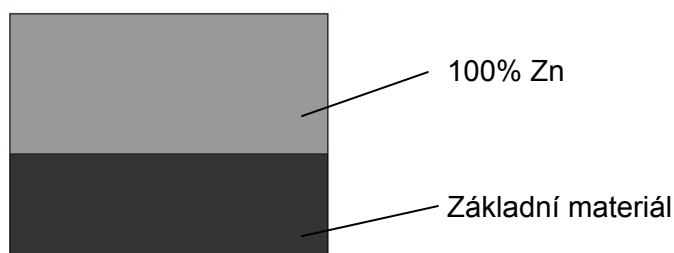


Obr.2.20: Druhy morfologií HDG povlaků [5]

2.5.2.4 Elektrolyticky zinkované plechy EG (Electro Galvanized)

Elektrolyticky pozinkované plechy se vyrábí za studena v pozinkovací komoře, která je připojena ke zdroji stejnosměrného proudu. Katoda se připevní na ocelový plech a anoda je v kontaktu s elektrolytem, který obsahuje zinek. Mezi elektrodami vznikne elektrické pole, které vyvolá usměrněný pohyb iontů a na povrchu plechu se vyloučí zinkový povlak. Touto metodou lze vytvořit povlaky o tloušťce 3 μm , ale běžně se povlakuje na tloušťku 7 až 10 μm . Podle konstrukce zařízení je možné plechy pokovovat z jedné nebo z obou stran. [5], [16], [17], [18]

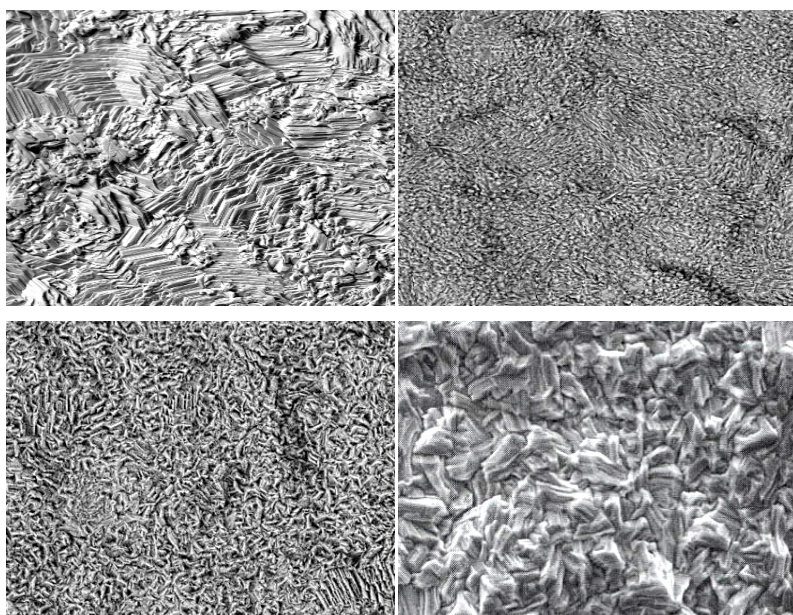
Takto zinkované plechy mají kromě výborné korozi odolnosti i další výhody oproti technologii žárového zinkování. EG povlaky dosahují čistoty až 100% (Obr.2.21) a neovlivňují nijak mechanické vlastnosti základního materiálu při tváření.



Obr.2.21: Elektrolyticky zinkovaná vrstva [5]

Povlaky jsou houževnaté a dobře tváritelné, tudíž jsou vhodné k operacím hlubokého tažení. Tloušťku zinkové vrstvy je možno poměrně snadno regulovat. Lze vytvářet velmi tenké povlaky s odchylkou kolem $0,1 \mu\text{m}$ a také vrstvy s proměnnou tloušťkou. Povrch je hladký a morfologie (Obr.2.22) nevýrazná, protože kopíruje morfologii základního materiálu.

Elektrolyticky zinkované plechy jsou vhodné pro technicky a konstrukčně náročnější díly jako jsou automobilové karoserie, ale používají se i jako materiál pro střešní krytiny, okapy nebo pouliční osvětlení. [5], [16], [17], [18]

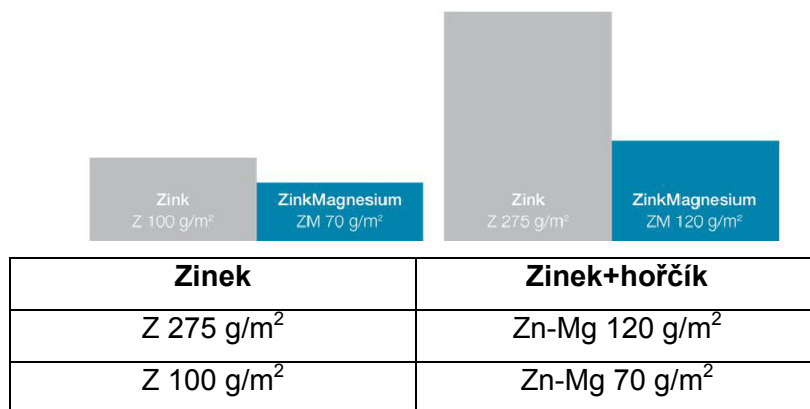


Obr.2.22: Druhy morfologií EG povlaků [5]

2.5.2.5 Plechy s povlakem Zn-Mg

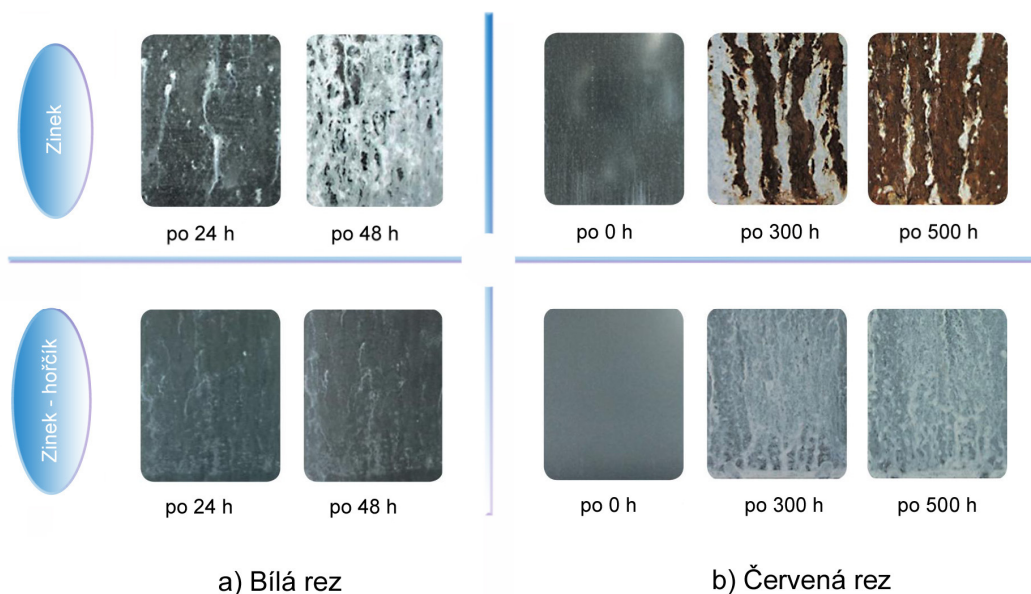
Kovové povlaky na bázi zinku a hořčíku Zn-Mg jsou dalším stupněm ve vývoji žárově pokovovaných povlaků s antikorozními vlastnostmi. Na nosný materiál se nanáší nejčastěji žárově v tavné lázni. Zn-Mg povlaky se vyrábí legováním zinku 2% hořčíku a 2% hliníku. Vzniká tím pokroková a odolná ochranná vrstva s mnohými výhodami oproti tradičně zinkované ploché oceli.

Zn-Mg povlaky předčí ochranou proti korozi současně používané materiály. Na základě skvělé ochrany proti korozi může být tloušťka kovové vrstvy oproti běžným zinkovým povlakům výrazně tenčí (Obr.2.23). Kromě toho je jejich povrch tvrdší a odolnější vůči otěru a opotřebení. Mají dobré hlubokotažné vlastnosti a při lakování dosahují dobré přilnavosti lakované vrstvy. To je příznivé pro kvalitní vzhled budoucího dílu. Díky redukci kovové vrstvy je možná úspora vynaložených finančních prostředků. Produkce je efektivní a cenově optimalizovaná. [21], [22]



Obr.2.23: Redukce vrstvy povlaku při zachování antikorozních vlastností [22]

Laboratorní zkoušky prokázaly lepší ochranu před bílou korozí. Bílá koroze představuje pouze vzhledové poškození povlaku a není při ní snížena protikorozní odolnost. Při zkoušce v solné mlze můžeme u klasického zinkovaného plechu pozorovat jasné příznaky bílé koroze již do 48 hodin. Při stejné zkušební době nebyl povrch Zn-Mg poškozen téměř vůbec (Obr.2.24a).



Obr.2.24: Povrchy poškozené korozí při zkoušce v solné mlze [22]

Vyšší ochranu poskytuje také před červenou korozí, která způsobuje poškození základního materiálu. U Zn-Mg povlaků nejsou po 500 hodinách rozpoznatelné ještě žádné příznaky od červené rzi. Na rozdíl od klasicky zinkovaných povrchů, kde je poškozena velká část povrchu (Obr.2.24b).

Existuje několik druhů Zn-Mg povlaků, které jsou různé podle oblasti použití. Liší se hlavně podle velikosti vrstvy naneseného povlaku, která je závislá na drsnosti povrchu a pohybuje se od 70 do 200 g/m². Vyrábí se plechy o tloušťce od 0,5 do 3,0 mm. Mezi přední výrobce těchto plechů patří Arcelor Mittal, Voest Alpine a Thyssen Krupp.

Žárově zinkované plechy s povlaky zinek-hořčík nabízejí velký potenciál ve spotřebním, elektrotechnickém a automobilovém průmyslu. Vyrábí se z nich karoserie automobilů, střešní krytiny, kryty přístrojů pro domácnost, fasádní solární kolektory atd.

Zn-Mg povlaky jsou pro své výborné antikorozi vlastnosti i nadále předmětem neustálého výzkumu a vývoje. [21], [22]

3 Experimentální část

Úkolem této bakalářské práce je vyhodnocení vlivu deformace na změnu tribologických vlastností karosářských plechů s novými povlaky ze slitin zinku a hořčíku. Porovnávají se mezi sebou dva druhy plechů s povlakem Zn-Mg DX56D ZM90 BO a DX57D ZM90 BO, které se již v automobilovém průmyslu používají. Plechy jsou od výrobců Voest Alpine a Arcelor Mittal a zkouší se na kalených i nekalených zkušebních čelistech (materiál čelistí GGG 70L). V průběhu měření se mění velikost kontaktního tlaku v rozmezí od 8 MPa do 83 MPa. Měření se provádí v laboratořích Katedry strojírenské technologie TUL na zkušebním zařízení SOKOL 400.

3.1 Cíle bakalářské práce

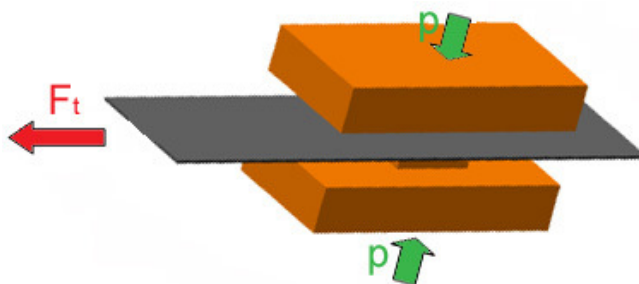
Hlavní cíle této bakalářské práce jsou:

- Naměřit velikosti sil potřebných pro tažení plechů s povlaky Zn-Mg pro zvolené kontaktní tlaky bez deformace a s 15% a 30% deformací zkušební vzorku.
- Zjistit koeficient tření při tažení plechů s povlaky Zn-Mg pro zvolené kontaktní tlaky bez deformace a s 15% a 30% deformací zkušební vzorku.
- Vyhodnocení tribologických vlastností zkoušených materiálů a posouzení jejich použitelnosti při různých hodnotách deformace.
- Porovnání vhodnosti obou materiálů pro hluboké tažení.

3.2 Princip měření

Jedná se o zkoušku modelování tření mezi tažnicí a přidržovačem (viz. kapitola 2.4.1.1). Princip zkoušky (Obr.3.1) spočívá v protažení pásku zkoumaného materiálu mezi dvěma čelistmi zkušebního zařízení (varianta 1B). Protažení probíhá za předem nastavených technologických podmínek (rychlost posuvu, dráha posuvu, kontaktní tlak, teplota čelistí, druh a množství maziva atd.).

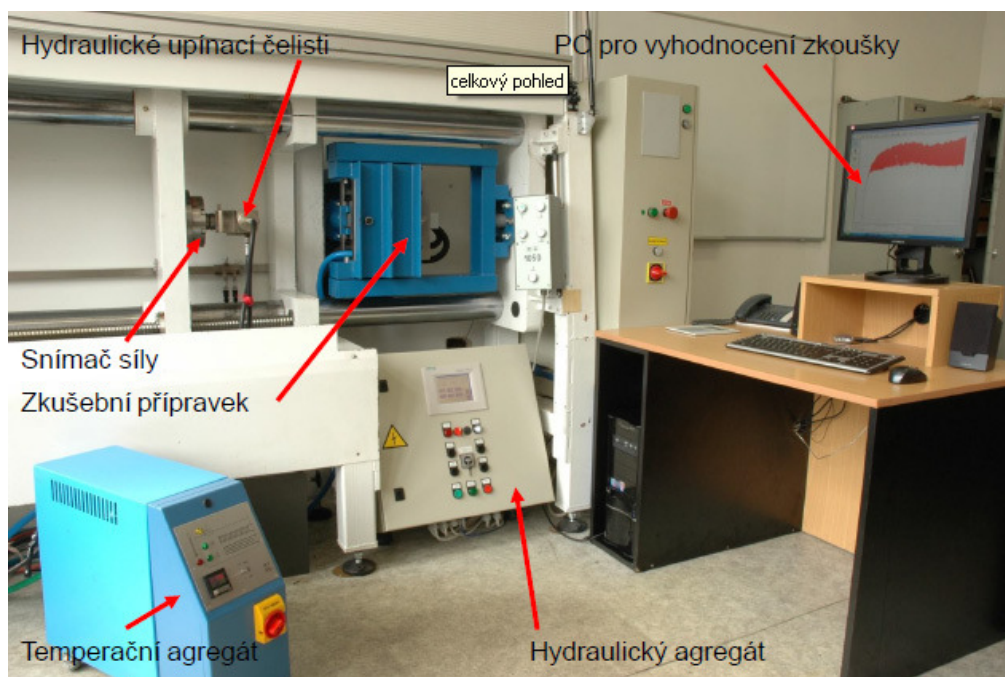
Výsledkem zkoušky je graf závislosti tažné síly na posuvu, který slouží jako podklad pro vyhodnocení tribologických vlastností testované soustavy. Ze zaznamenané síly, která je potřebná k protažení vzorku, se vypočítá koeficient tření.



Obr.3.1: Princip tribologické zkoušky [10]

3.3 Zařízení Sokol 400

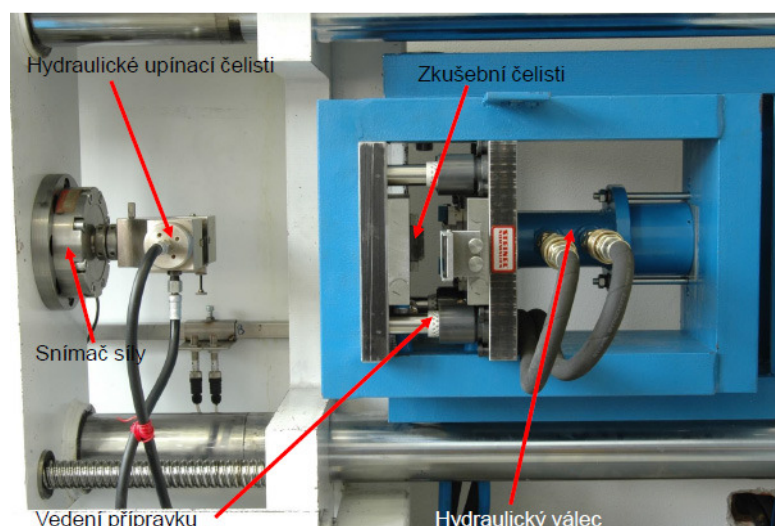
Pro hodnocení tribologických vlastností bylo na Katedře strojírenské technologie TU v Liberci ve spolupráci se Škoda Auto, a.s. vyvinuto a zkonstruováno zařízení SOKOL 400 (Obr.3.2). Jedná se o zkušební zařízení, jehož konstrukce vychází z technologických požadavků vyskytujících se v praxi a z již známých metod měření.



Obr.3.2: Zkušební zařízení SOKOL 400 [10]

Zařízení se skládá z tuhého rámu, ve kterém se nachází zkušební přípravek (Obr.3.3). V přípravku se nachází nepohyblivé upínací čelisti, které jsou ovládané hydraulicky a umožňují vyvození potřebného tlaku. Tlak čelistí je možné regulovat na hydraulickém agregátu od 8 do 83 MPa. Čelisti jsou vyměnitelné, závisí na druhu zkoušeného materiálu nástroje a použité metodě zkoušky. Navíc jsou vyhřívány temperačním systémem, který zajišťuje konstantní teplotu během měření. Druhé čelisti s tenzometrickou snímací hlavou se pohybují ve vodících tyčích pomocí dvou pohybových kuličkových šroubů. Tenzometrický snímač měří velikost protahovací síly. Posuv pohyblivých čelistí způsobuje protahování vzorku mezi pevně uchycenými čelistmi, na kterých se mění velikost kontaktního tlaku. Rychlost posuvu pohyblivých čelistí lze nastavit od 1 do 400 mm/s.

Zařízení je připojeno k počítači, který zaznamenává velikost síly a dalších vstupujících parametrů. Výsledkem je grafický záznam průběhu zkoušky.



Obr.3.3: Zkušební přípravek [10]

3.4 Testovaný materiál

Na základě požadavku firmy Škoda Auto, a.s. Mladá Boleslav byly testovány dva druhy materiálu s povlakem Zn-Mg od výrobců Voest Alpine a Arcelor Mittal. Jednalo se o materiály DX56D ZM90 BO a DX57D ZM90 BO označené podle standardní normy EN 10346. Tyto materiály mají dobré protikorozní vlastnosti, ale horší vlastnosti zpracovatelské a v automobilovém průmyslu se začaly používat teprve nedávno.

Tab.1: Tabulkové vlastnosti testovaných materiálů

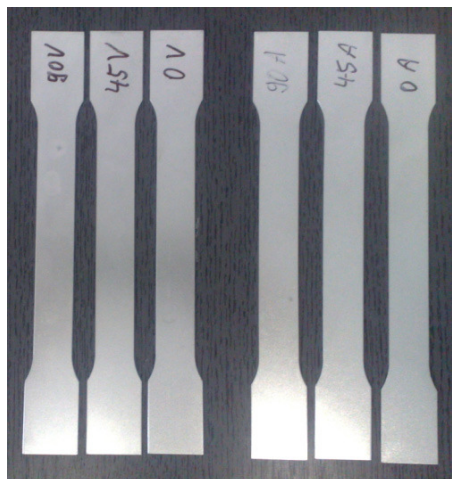
Materiál	DX56D ZM90 BO	DX57D ZM90 BO
Výrobce	Voest Alpine	Arcelor Mittal
Tloušťka	0,74 mm	0,66 mm
Smluvní mez pevnosti v tahu R_m	260 – 350 MPa	260 – 350 MPa
Smluvní mez kluzu v tahu R_{p02}	120 – 180 MPa	120 – 170 MPa
Tažnost $A_{80\text{ mm}}$	37 %	39 %
Chemické složení	C 0,12%	C 0,12%
	Mn 0,6%	Mn 0,6%
	P 0,1%	P 0,1%
	S 0,045%	S 0,045%
	Si 0,5%	Si 0,5%
	Ti 0,3%	Ti 0,3%
Množství povlaku (obě strany)	90 g/m ²	90 g/m ²
Tloušťka povlaku (jedna strana)	7 μm	7 μm

3.4.1 Statická zkouška tahem

Statická zkouška tahem byla provedena na zařízení TIRAtest 2300 (Obr.3.4) umístěném v laboratořích KSP. Zkušební vzorky (Obr.3.5) byly z materiálu odebrány vzhledem ke směru válcování v 0°, 45°, 90°. Od obou materiálů byly odebrány 3 vzorky v každém směru.



Obr.3.4: Zařízení TIRAtest 2300



Obr.3.5: Zkušební vzorky pro statickou zkoušku tahem

Postup měření zkoušky a odebrání vzorků byly v souladu s normou EN ISO 6892-1 pro kovové materiály při okolní teplotě. Zkouška byla vyhodnocena na PC za pomoci softwaru LabNET v.3.

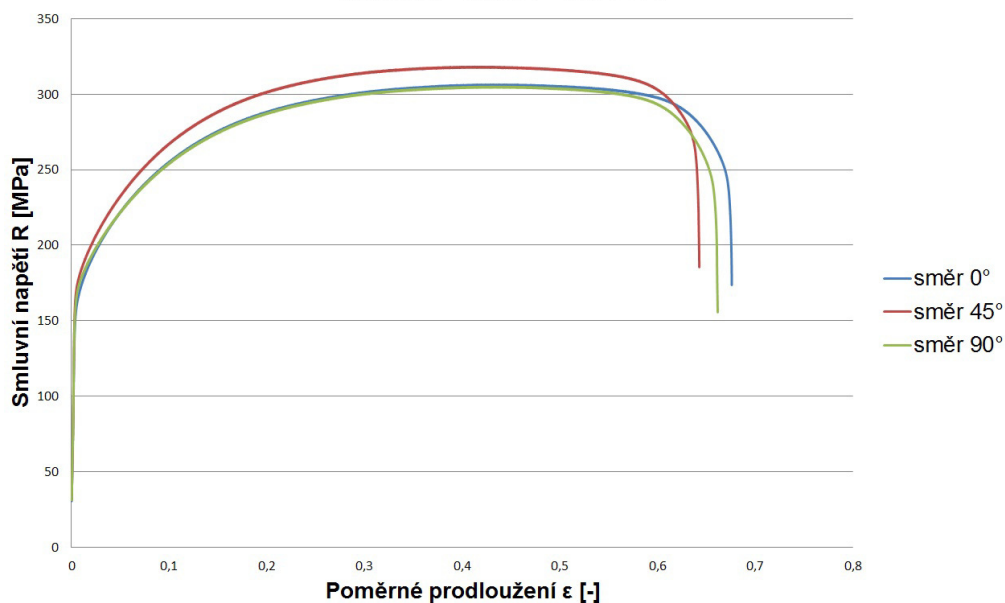
Výsledkem statické zkoušky tahem jsou základní mechanické vlastnosti testovaného materiálu. Jedná se o smluvní mez pevnosti v tahu R_m , smluvní mez kluzu v tahu $R_{p0,2}$ a tažnost $A_{80\text{ mm}}$. Pro jednotlivé charakteristiky je podle vztahu (4) vypočtena střední směrová hodnota x_s .

$$x_s = \frac{(x_0 + 2x_{45} + x_{90})}{4} \quad (4)$$

Tab.2: Mechanické vlastnosti materiálu DX56D ZM90 BO

DX56D ZM90 BO	Směr			
	0°	45°	90°	x_s
R_m [MPa]	306,8	315,6	303,7	310,4
$R_{p0,2}$ [MPa]	164,9	173,6	169,8	170,5
$A_{80\text{ mm}}$ [%]	48,0	45,1	47,5	46,4

Materiál DX56D ZM90 BO

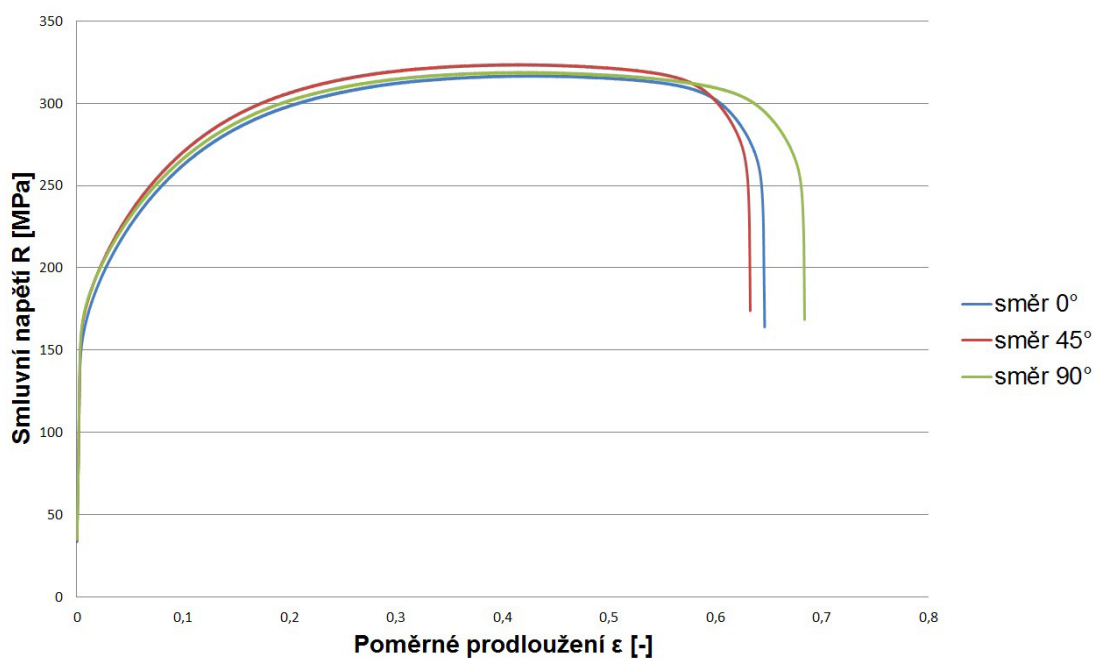


Graf 1: Průběh statické zkoušky tahem materiálu DX56D ZM90 BO

Tab.3: Mechanické vlastnosti materiálu DX57D ZM90 BO

DX57D ZM90 BO	Směr			
	0°	45°	90°	x_s
R_m [MPa]	318,4	323,2	319,0	321,0
R_{p02} [MPa]	159,3	167,7	169,5	166,1
$A_{80\text{ mm}}$ [%]	46,5	44,2	47,5	45,6

Materiál DX57D ZM90 BO



Graf 2: Průběh statické zkoušky tahem materiálu DX57D ZM90 BO

3.4.2 Drsnost povrchu

Drsnost zkoumaných plechů byla měřena podle normy DIN EN ISO 4287 za použití přenosného drsnoměru Marsurf PS1 (Obr.3.6). Měřena byla na vzorcích určených pro tribologickou zkoušku. Každý vzorek bez deformace i s 15% a 30% deformací byl měřen na 4 místech, jejichž výsledky se zprůměrovaly. Měření bylo provedeno u obou materiálů na jedné i druhé straně vzorku. Přístroj hodnotil několik veličin geometrie povrchu, ze kterých byly nejdůležitější střední aritmetická hodnota drsnosti R_a a počet výstupků RP_c . Hodnoty jsou zapsány v tabulce 4 a 5 ve tvaru X1/X2, kde první hodnota je rub a druhá líc vzorku.



Obr.3.6: Drsnoměr MarSurf PS1

Tab.4: Drsnost povrchu materiálu DX56D ZM90 BO

DX56D ZM90 BO	Deformace		
	0%	15%	30%
R_a [μm]	1,19/1,29	1,43/1,33	1,93/1,88
RP_c [μm]	50/51	63/57	67/68

Tab.5: Drsnost povrchu materiálu DX57D ZM90 BO

DX57D ZM90 BO	Deformace		
	0%	15%	30%
R_a [μm]	1,21/1,19	1,49/1,42	1,77/1,81
RP_c [μm]	52/51	66/62	69/72

3.5 Příprava vzorků pro tribologickou zkoušku

Pečlivá příprava měřených vzorků materiálu má zásadní vliv na průběh měření a správnost jeho výsledků. Zkoušely se dva druhy materiálu o třech různých

deformacích. Pro každý materiál a deformaci bylo potřeba vyrobit 4 vzorky (dohromady 24). Příprava vzorků spočívala v nastříhání plechových pásků, vytvoření deformace, očištění, odmaštění a nanesení vrstvy tvářecího maziva.

3.5.1 Stříhání plechů

Vzorky byly odebrány z tabulí plechu dodaných od firmy Škoda Auto, a.s. Byly nastříhány na mechanických tabulových nůžkách na podlouhlé pásky. Délka pásků byla 700 mm a šířka 44 mm. Stříhání bylo prováděno ve směru válcování.

3.5.2 Vytvoření deformace

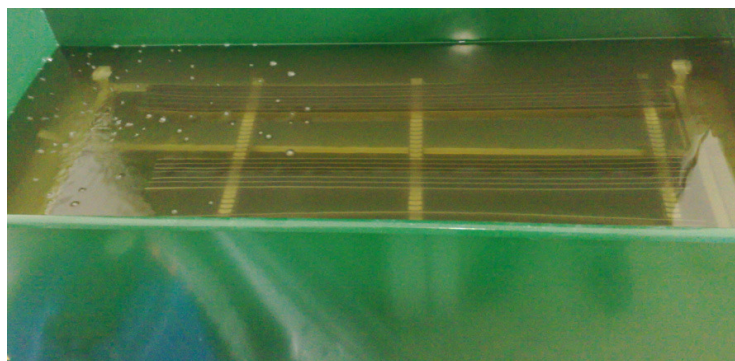
Tribologické vlastnosti Zn-Mg plechů se zkoumají na nedeformovaném materiálu i při předdeformaci 15% a 30% (Obr.3.7). Předdeformace byla vytvořena na trhačím stroji TIRAtest 2300. Vypočítá se o kolik je třeba vzorek prodloužit, aby byla dosažena potřebná deformace. O tuto hodnotu je potřeba pásek natáhnout před dalším měřením.



Obr.3.7: Materiál o různých deformacích

3.5.3 Odmaštění vzorků

Před samotným měřením na přístroji SOKOL 400 bylo potřeba ze vzorků odstranit nečistoty a konzervační mazivo, které bylo na plech nanášeno ve válcovně. Všechny vzorky byly umístěny do stojanů a následně vloženy do odmašťovacího zařízení značky OTS (Obr.3.8). Zařízení bylo naplněno ekologickým organickým odmašťovadlem C-SOL, kterým probublával vzduch a tím došlo k odmaštění vzorků.



Obr.3.8: Vzorky v odmašťovacím zařízení

3.5.4 Nanesení vrstvy maziva

Po vyjmutí vzorků z odmašťovacího zařízení a jejich dokonalém osušení bylo potřeba na povrch pásků nanést potřebnou vrstvu maziva. Bylo použito mazivo ANTICORIT PL 3802-39S, které bude popsáno v dalších kapitolách. Mazivo bylo nanášeno na obě strany vzorku pomocí napuštěné textilie. Pro správnost měření bylo potřeba nanést souvislý film o množství $1,5 \pm 0,1 \text{ g/m}^2$ mazadla. Přesné množství maziva bylo měřeno pomocí ručního přenosného zařízení od firmy Fuchs-Europe Schmierstoffe GmbH (Obr.3.9), vždy na třech náhodně vybraných místech. Přístroj byl zapůjčen od firmy Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav.



Obr.3.9: Měřící zařízení od firmy Fuchs-Europe Schmierstoffe GmbH

3.6 Podmínky tribologické zkoušky

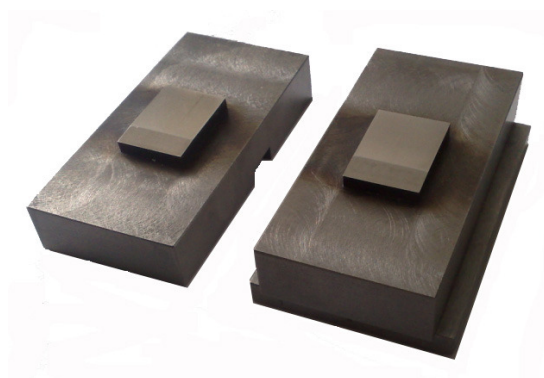
Do procesu tažení vstupuje velké množství faktorů, které ovlivňují nejen průběh operace, ale také kvalitu finálního výsledku. Některé z těchto faktorů je možné nasimulovat a sledovat při tribologické zkoušce. Testování bylo zaměřeno na porovnání dvou druhů materiálu za použití kalených i nekalených čelistí a při změně kontaktního tlaku zkušebních čelistí. Rychlost posuvu, měřená dráha, množství maziva, teplota zkušebních čelistí, maximální snímaná síla a frekvence snímání dat byly během všech měření konstantní (Tab.6).

Tab.6: Konstantní veličiny

Parametr	Hodnota
Varianta zkoušky [-]	1B
Rychlost posuvu [mm/s]	1
Měřená dráha [mm]	600
Množství maziva [g/m ²]	1,5±0,1
Maximální snímaná síla [kN]	20
Frekvence snímání dat [kHz]	2
Teplota čelistí [°C]	60

3.6.1 Použitý nástroj

Použitý tažný nástroj při tribologické zkoušce simulují zkušební čelisti zkušebního zařízení (Obr.3.10). Použily se dva druhy čelistí z tvárné litiny GGG 70L označené dle normy DIN 1693. Jedny čelisti byly kalené a druhé bez tepelného zpracování. Kontaktní plocha čelistí byla 400 mm² (20x20 mm). Před samotným měřením musely být leštěné čelisti ošetřeny, aby hodnota maximální výšky profilu R_z nepřesahovala 3 µm. Byly přebroušeny jemným smirkovým papírem, následně očištěny acetonem a opatřeny tenkou vrstvou maziva.

**Obr.3.10:** Zkušební čelisti zařízení SOKOL 400

3.6.2 Mazivo

Jako mazivo použité při tribologickém testu byl vybrán olej ANTICORIT PL 3802-39S. Jednalo se o olej typu prelube, který se běžně používá jako konzervační olej, ale může být použit i jako tvářecí látka bezprostředně před tažením. Mazivo má dobrou antikorozi ochrannou i za extrémních klimatických podmínek, optimální tvářecí výkon pro obtížné tahy, snadnou odstranitelnost po stárnutí a tepelném zatížení.

Je vhodné pro normální ocelové plechy, ale i pro zušlechtěné například s povlakem Zn-Mg. Některé vlastnosti jsou uvedeny v tab.7.

Tab.7: Některé vlastnosti maziva ANTICORIT PL 3802-39S

Vlastnost	Hodnota	Zkouška dle normy
Skupenství [-]	kapalné	[-]
Zápach [-]	charakteristický	[-]
Číslo barvy [-]	3,5	DIN ISO 2049
Hustota při 15 °C [kg/m ³]	915	DIN 51 757
Viskozita při 40 °C [mm ² /s]	60	DIN 51 562
Bod vzplanutí [°C]	196	DIN ISO 2049
Obsah vody [%]	< 0,2	DIN 51 777-2
Odstranitelnost [-]	vyhovuje	VW 52.02

3.6.3 Kontaktní tlak

Kontaktní tlak čelistí simuluje skutečné tlakové poměry při tažení mezi tažnicí a přidržovačem. Tlak čelistí je ovládán hydraulicky pomocí hydraulického agregátu (Obr.3.11). Během zkoušky se po každých 100 mm protažení pásku automaticky zvýšil kontaktní tlak o hodnotu 15 MPa. Začínalo se na hodnotě 8 MPa a končilo se při 83 MPa.



Obr.3.11: Hydraulický agregát s regulací tlaku

3.7 Tribologická zkouška protahováním pásku

Před začátkem samotného měření bylo nejprve nutné určit, kolik vzorků se bude protahovat. Bylo rozhodnuto, že se pro každý materiál a deformaci budou testovat 4 vzorky. Dohromady tedy 24 měření.

Jak již bylo zmíněno, zkouška probíhala na měřicím zařízení SOKOL 400. Nejprve bylo třeba do přípravku přístroje nainstalovat zkušební čelisti. Čelisti byly před instalací očištěny a ošetřeny mazivem. Dále byl zapnut temperační agregát, který zajišťoval konstantní teplotní podmínky čelistí během celého měření. Na zařízení byla dále nastavena rychlost posuvu, měřená dráha a frekvence snímání dat (viz. kapitola 3.6). Poté byl do zařízení vložen testovaný vzorek (viz. kapitola 3.5) a sevřely se pohyblivé čelisti. Velikost kontaktního tlaku pevných čelistí byla přednastavena tak, aby se měnila skokově o 15 MPa vždy po 100 mm naměřené délky. Dále byl přístroj spuštěn a začalo samotné protahování vzorku (Obr.3.12). Stejný postup byl použit pro kalené i nekalené čelisti, pro oba druhy materiálů a pro všechny připravené deformace.

Průběh měření byl zaznamenáván do PC pomocí softwaru LabNET v.3. Výsledkem zkoušky byly velikosti tažných sil a jejich průběh v závislosti na měřené dráze. Tyto hodnoty byly předmětem dalšího zpracování (viz. kapitola 3.7.1).



Obr.3.12: Protahování vzorku

3.7.1 Způsob vyhodnocení zkoušky

Pro vyhodnocení tribologických vlastností sloužily záznamy průběhů tažných sil získaných ze softwaru LabNET v.3. Na začátku každé měřené části docházelo během zkoušky ke zvýšení tažné síly potřebné k protažení vzorku, proto musel být graf rozdělen na dvě části. Na část náběhovou, kde bylo nejdůležitější zjištění hodnoty F_{\max} jako počáteční síly a na část ustálenou, kde byly důležité hodnoty F_s , F_h , F_{\min} a ΔF . Za ustálenou část byl určen průběh zkoušky po protažení 30 mm pásku. Nejprve bylo nutné ze vztahu (5) vypočítat velikost normálové přitlačné síly. Ze změřených a vypočítaných hodnot byly podle vztahu (6) určeny koeficienty tření pro dané materiály a technologické podmínky. V této práci byla pro výpočet koeficientu tření upřednostněna maximální síla F_h , které bylo dosaženo v ustálené části diagramu protahovaného vzorku.

$$Q = p \cdot S_k \quad (5)$$

$$\mu = \frac{F_h}{2 \cdot Q} \quad (6)$$

F_{\max} ... maximální dosažená síla [N]

F_h ... maximální velikost síly v ustálené části diagramu [N]

F_{\min} ... minimální velikost síly v ustálené části diagramu [N]

F_s ... střední velikost síly v ustálené části diagramu [N]

ΔF ... velikost rozkmitu síly v ustálené části diagramu [N]

Q ... normálová přitlačná síla [N]

p ... kontaktní tlak v čelistech [MPa]

S_k ... kontaktní plocha čelistí [mm²]

3.7.2 Ukázkový protokol měření

Na obrázku 3.13 je vyobrazen protokol z tribologické zkoušky protahováním pásu. Jedná se o protokol pro materiál DX56D ZM90 BO od výrobce Voest Alpine s deformací 15% při použití nekalených čelistí z materiálu GGG 70L. Všechny získané protokoly měření jsou v příloze P5.

Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

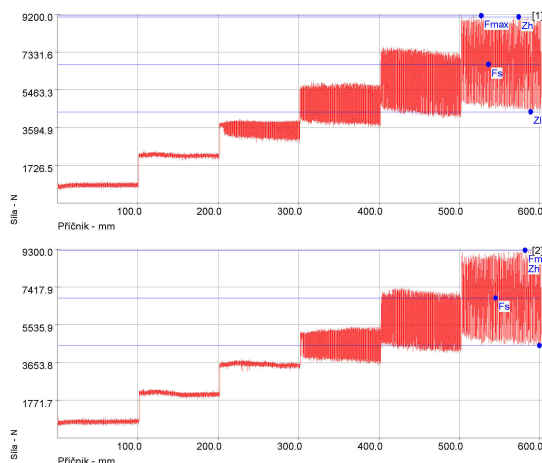
Zkouška protahováním pásu

Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	Anticorit PL 3802-39S	Kontaktní plocha :	20 mm x 20 mm
Množství maziva :	1,5 ± 0,1 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	Voest ZnMg 15% def.	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,43/1,33 μm PC=63/57 1/cm	Teplota :	60 °C
Materiál nástroje :	GGG 70L, nekaleno	Frekvence snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	8 - 83 MPa (á 15 MPa)	Měřená délka :	600 mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F_{\max} N	F_s N	Z_l N	Z_h N	Z_{\max} N
1	9122	6709	4356	9062	4706
2	9235	6886	4497	9235	4738
x	9178	6798	4427	9148	4722
s	79,68	110,87	99,63	122,12	22,50



Obr.3.13: Výsledný protokol z tribologické zkoušky protahováním pásu

3.8 Naměřené hodnoty

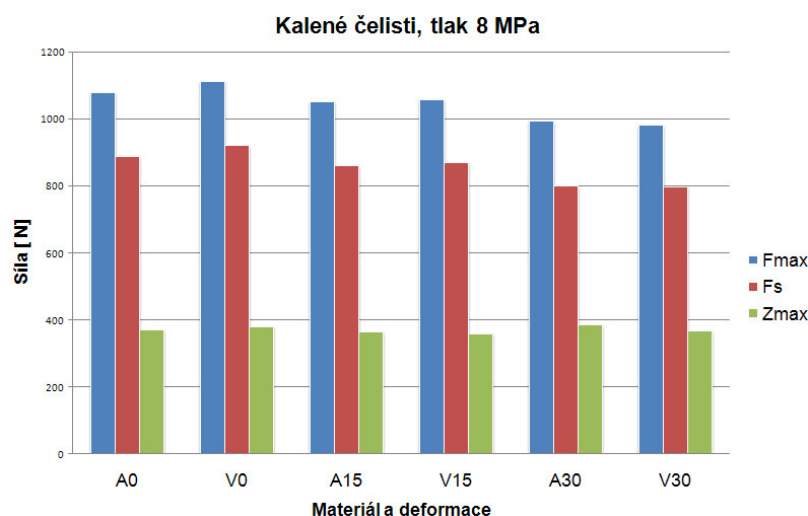
Naměřené hodnoty z experimentu jsou prezentovány ve formě tabulek a grafů. Pro snazší orientaci ve výsledcích byl materiál DX56D ZM90 BO od výrobce Voest Alpine označen písmenem V a materiál DX57D ZM90 BO od výrobce Arcelor Mittal písmenem A. Deformace příslušných materiálů byly značeny číslicemi 0, 15 a 30 (např. A0 nebo V30).

3.8.1 Vliv kontaktních tlaků

Pro jednotlivé kontaktní tlaky byly vytvořeny grafy velikostí maximálních dosažených sil F_{\max} , středních sil v ustálené části diagramu F_s a velikostí rozkmitu sil ΔF v ustálené oblasti měření pro oba druhy materiálů se všemi deformacemi. Bylo vytvořeno 6 grafů pro tlaky 8 až 83 MPa s použitím kalených čelistí a 6 grafů při použití nekalených čelistí. Zde jsou uvedeny tabulky a grafy pouze pro kontaktní tlak 8 MPa pro kalené a nekalené čelisti. Naměřené hodnoty a grafy pro zbývající kontaktní tlaky jsou uvedeny v přílohách P1, P2, P3 a P4.

Tab.8: Výsledky tažných sil všech materiálů při kontaktním tlaku 8 MPa a při použití kalených čelistí

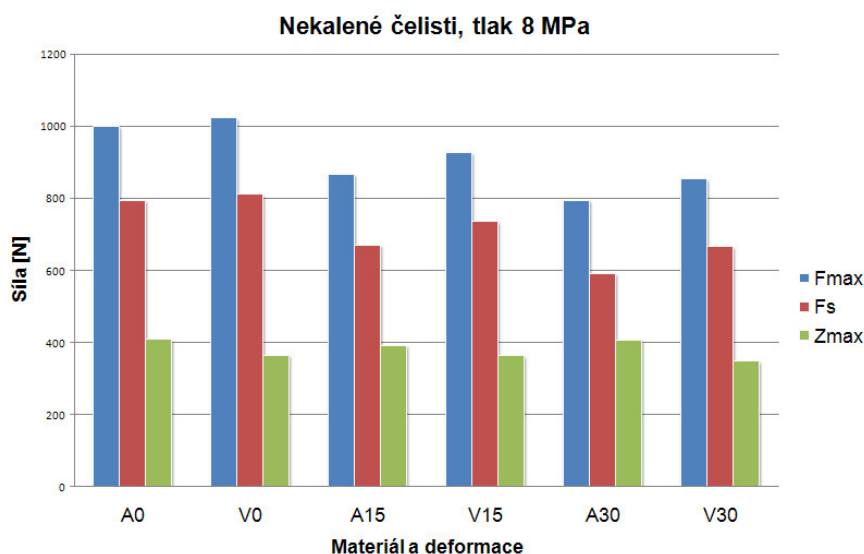
Kontaktní tlak 8 MPa, kalené čelisti			
Materiál	F_{\max} [N]	F_s [N]	ΔF [N]
A0	1082,12	891,07	372,10
V0	1113,87	922,75	382,24
A15	1055,23	862,31	367,66
V15	1060,38	871,23	359,66
A30	995,83	802,49	386,69
V30	984,79	799,99	369,60



Graf 3: Velikosti maximální síly, střední síly a rozkmitu u všech zkoušených materiálů při působení tlaku 8 MPa a při použití kalených čelistí

Tab.9: Výsledky tažných sil všech materiálů při kontaktním tlaku 8 MPa a při použití nekalených čelistí

Kontaktní tlak 8 MPa, nekalené čelisti			
Materiál	F_{\max} [N]	F_s [N]	ΔF [N]
A0	1001,53	796,38	410,31
V0	1024,94	812,70	366,82
A15	869,04	672,40	393,29
V15	929,14	737,84	364,39
A30	797,00	592,82	408,37
V30	855,84	667,44	349,32



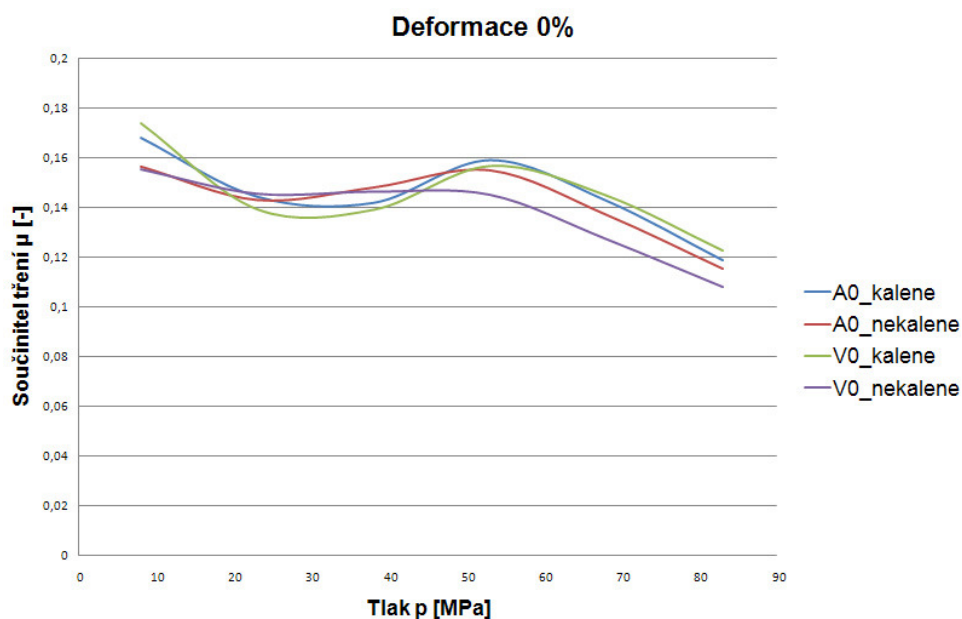
Graf 4: Velikosti maximální síly, střední síly a rozkmitu u všech zkoušených materiálů při působení tlaku 8 MPa a při použití nekalených čelistí

3.8.2 Vliv deformace

Pro jednotlivé deformace vzorků (0, 15 a 30 %) byly vytvořeny grafy, kde se zohlednily jak oba druhy materiálů plechů, tak i oboje použité čelisti. Jsou zde uvedeny tabulky naměřených hodnot a grafy závislosti koeficientu tření μ na použitém kontaktním tlaku p .

Tab.10: Výsledky měření materiálů s nulovou deformací

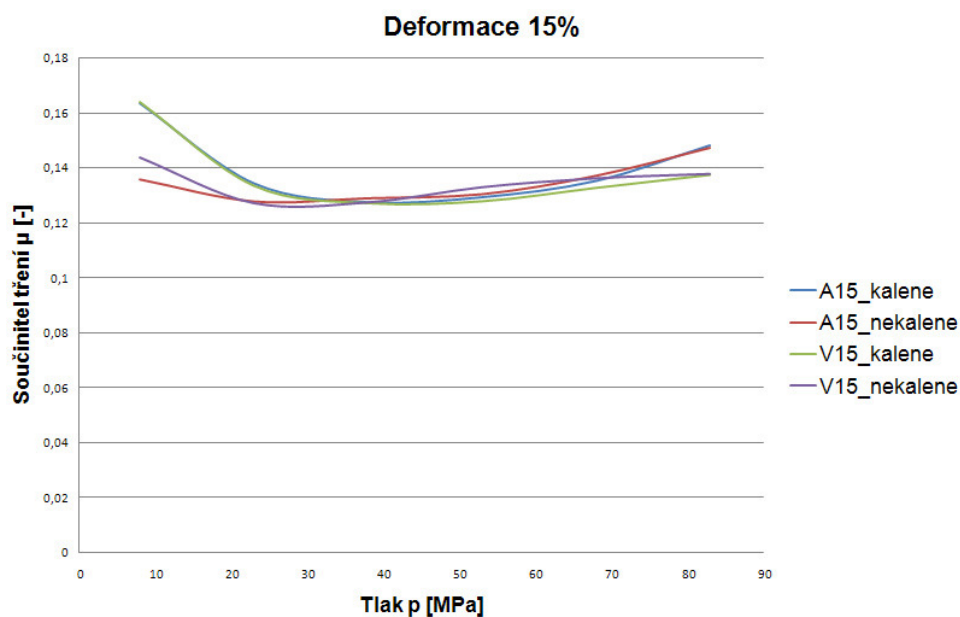
Materiál	Kontaktní tlak p [MPa]	Normálová síla F_N [N]	Maximální síla F_h [N]	Součinitel tření μ [-]
A0 Kalené čelisti	8	3200	1077,12	0,168
	23	9200	2659,24	0,145
	38	15200	4319,23	0,142
	53	21200	6754,55	0,159
	68	27200	7775,60	0,143
	83	33200	7893,29	0,119
A0 Nekalené čelisti	8	3200	1001,53	0,156
	23	9200	2633,53	0,143
	38	15200	4503,82	0,148
	53	21200	6573,23	0,155
	68	27200	7464,08	0,137
	83	33200	7673,34	0,116
V0 Kalené čelisti	8	3200	1113,87	0,174
	23	9200	2567,81	0,140
	38	15200	4237,39	0,139
	53	21200	6654,23	0,157
	68	27200	7891,97	0,145
	83	33200	8168,34	0,123
V0 Nekalené čelisti	8	3200	996,11	0,156
	23	9200	2681,74	0,146
	38	15200	4456,58	0,147
	53	21200	6161,60	0,145
	68	27200	6928,10	0,127
	83	33200	7166,60	0,108



Graf 5: Závislost koeficientu tření na kontaktním tlaku při deformaci 0%

Tab.11: Výsledky měření materiálů s 15% deformací

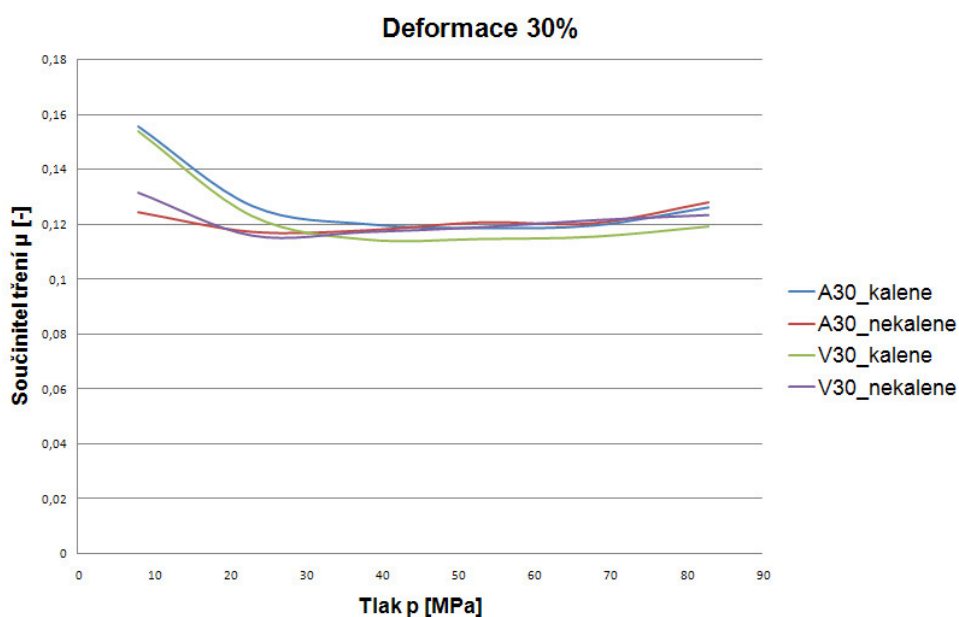
Materiál	Kontaktní tlak p [MPa]	Normálová síla F_N [N]	Maximální síla F_h [N]	Součinitel tření μ [-]
A15 Kalené čelisti	8	3200	1046,13	0,163
	23	9200	2473,53	0,134
	38	15200	3878,01	0,128
	53	21200	5486,46	0,129
	68	27200	7359,95	0,135
	83	33200	9838,27	0,148
A15 Nekalené čelisti	8	3200	869,04	0,136
	23	9200	2352,09	0,128
	38	15200	3920,25	0,129
	53	21200	5530,92	0,130
	68	27200	7457,62	0,137
	83	33200	9774,35	0,147
V15 Kalené čelisti	8	3200	1051,07	0,164
	23	9200	2458,25	0,134
	38	15200	3867,24	0,127
	53	21200	5422,61	0,128
	68	27200	7224,96	0,133
	83	33200	9133,88	0,138
V15 Nekalené čelisti	8	3200	920,04	0,144
	23	9200	2338,89	0,127
	38	15200	3873,22	0,127
	53	21200	5636,24	0,133
	68	27200	7408,26	0,136
	83	33200	9148,47	0,138



Graf 6: Závislost koeficientu tření na kontaktním tlaku při deformaci 15%

Tab.12: Výsledky měření materiálů s 30% deformací

Materiál	Kontaktní tlak p [MPa]	Normálová síla F_N [N]	Maximální síla F_h [N]	Součinitel tření μ [-]
A30 Kalené čelisti	8	3200	995,83	0,156
	23	9200	2334,58	0,127
	38	15200	3658,12	0,120
	53	21200	5041,06	0,119
	68	27200	6520,70	0,120
	83	33200	8390,58	0,126
A30 Nekalené čelisti	8	3200	797,00	0,125
	23	9200	2156,74	0,117
	38	15200	3580,73	0,118
	53	21200	5119,64	0,121
	68	27200	6554,12	0,121
	83	33200	8511,05	0,128
V30 Kalené čelisti	8	3200	984,79	0,154
	23	9200	2264,49	0,123
	38	15200	3482,64	0,115
	53	21200	4865,50	0,115
	68	27200	6288,32	0,116
	83	33200	7921,36	0,119
V30 Nekalené čelisti	8	3200	842,09	0,132
	23	9200	2136,66	0,116
	38	15200	3569,27	0,117
	53	21200	5050,44	0,119
	68	27200	6619,15	0,122
	83	33200	8201,06	0,124



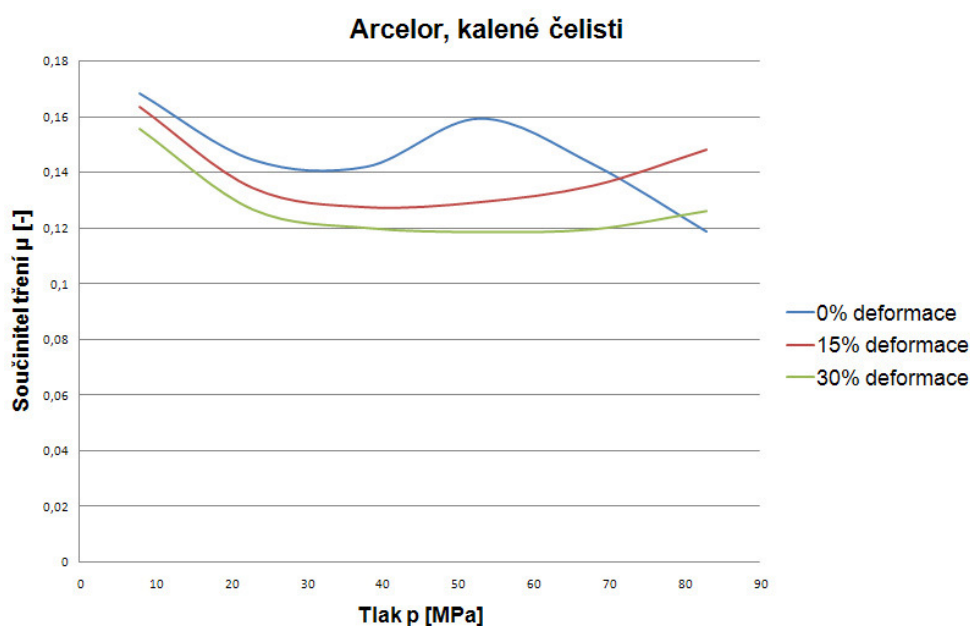
Graf 7: Závislost koeficientu tření na kontaktním tlaku při deformaci 30%

3.8.3 Vliv materiálů a použitých čelistí

Pro oba druhy materiálů plechů a oboje použité zkušební čelisti byly vytvořeny tabulky naměřených hodnot a grafy závislosti koeficientu tření μ na použitém kontaktním tlaku p při deformacích 0, 15 a 30%.

Tab.13: Výsledky měření materiálu Arcelor Mittal a kalených čelistí

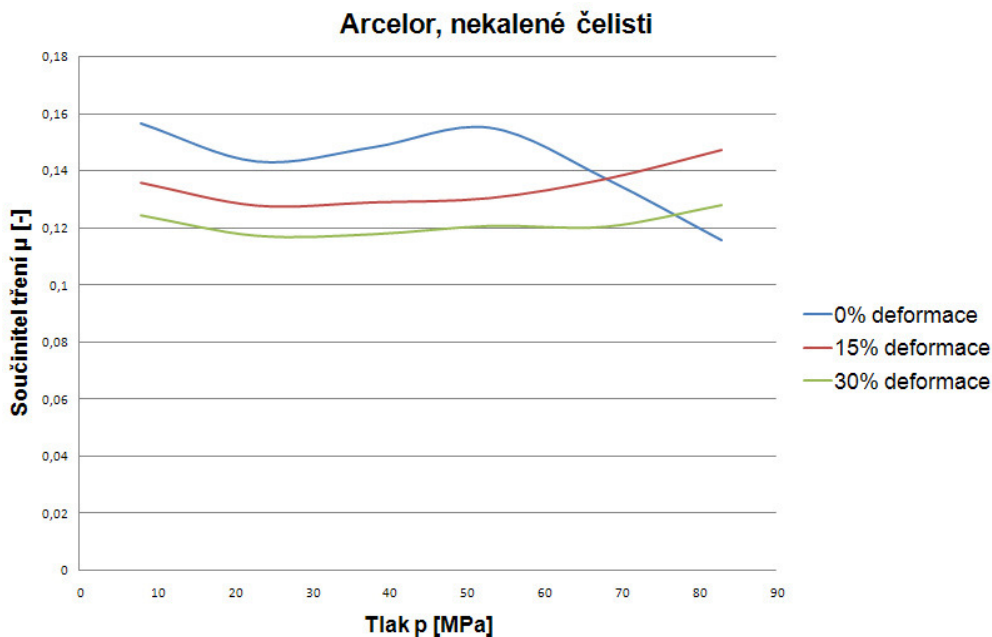
Deformace	Kontaktní tlak p [MPa]	Normálová síla F_N [N]	Maximální síla F_h [N]	Součinitel tření μ [-]
0%	8	3200	1077,12	0,168
	23	9200	2659,24	0,145
	38	15200	4319,23	0,142
	53	21200	6754,55	0,159
	68	27200	7775,60	0,143
	83	33200	7893,29	0,119
15%	8	3200	1046,13	0,163
	23	9200	2473,53	0,134
	38	15200	3878,01	0,128
	53	21200	5486,46	0,129
	68	27200	7359,95	0,135
	83	33200	9838,27	0,148
30%	8	3200	995,83	0,156
	23	9200	2334,58	0,127
	38	15200	3658,12	0,120
	53	21200	5041,06	0,119
	68	27200	6520,70	0,120
	83	33200	8390,58	0,126



Graf 8: Závislost koeficientu tření na kontaktním tlaku pro materiál Arcelor Mittal

Tab.14: Výsledky měření materiálu Arcelor Mittal a nekalených čelistí

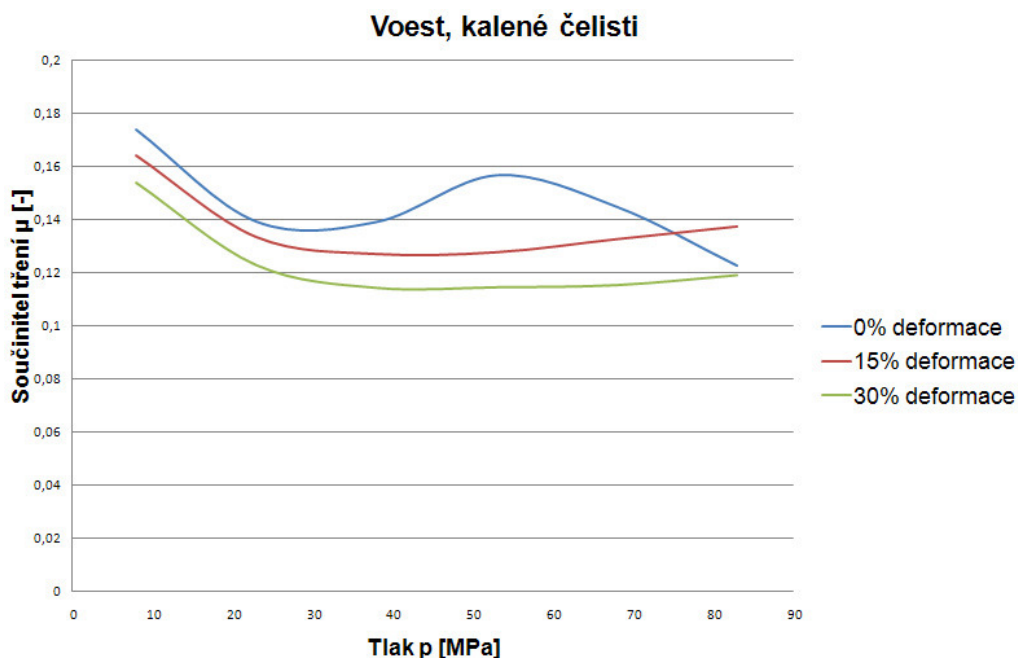
Deformace	Kontaktní tlak p [MPa]	Normálová síla F_N [N]	Maximální síla F_h [N]	Součinitel tření μ [-]
0%	8	3200	1001,53	0,156
	23	9200	2633,53	0,143
	38	15200	4503,82	0,148
	53	21200	6573,23	0,155
	68	27200	7464,08	0,137
	83	33200	7673,34	0,116
	83	33200	7673,34	0,116
15%	8	3200	869,04	0,136
	23	9200	2352,09	0,128
	38	15200	3920,25	0,130
	53	21200	5530,92	0,130
	68	27200	7457,62	0,137
	83	33200	9774,35	0,147
	83	33200	9774,35	0,147
30%	8	3200	797,00	0,125
	23	9200	2156,74	0,117
	38	15200	3580,73	0,118
	53	21200	5119,64	0,121
	68	27200	6554,12	0,120
	83	33200	8511,05	0,128
	83	33200	8511,05	0,128



Graf 9: Závislost koeficientu tření na kontaktním tlaku pro materiál Arcelor Mittal a nekalené čelisti

Tab.15: Výsledky měření materiálu Voest Alpine a kalených čelistí

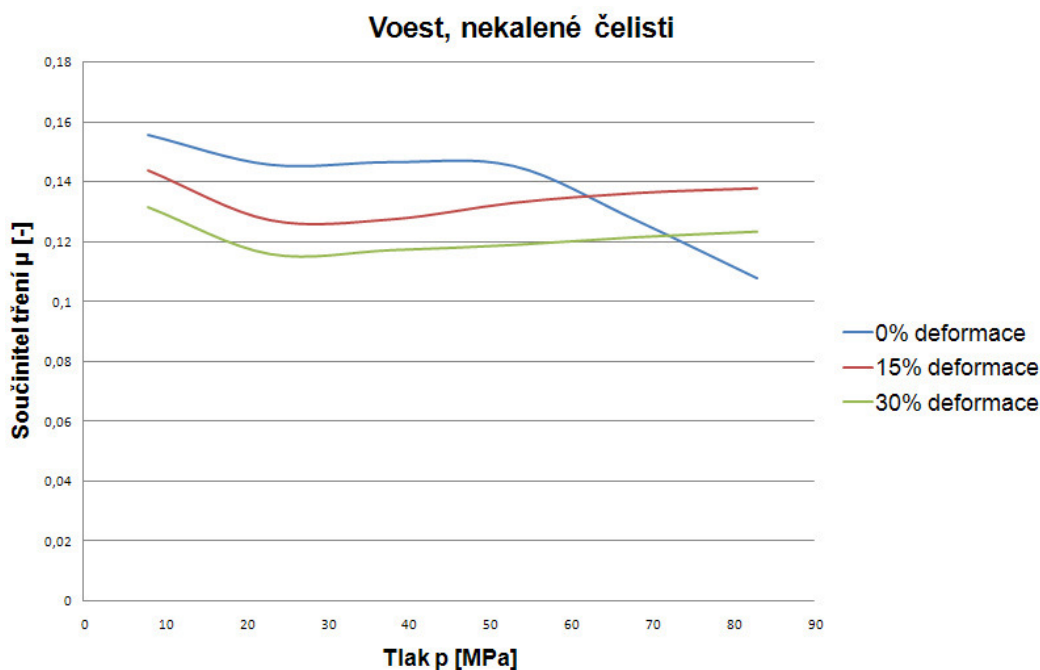
Deformace	Kontaktní tlak p [MPa]	Normálová síla F_N [N]	Maximální síla F_h [N]	Součinitel tření μ [-]
0%	8	3200	1113,87	0,174
	23	9200	2567,81	0,140
	38	15200	4237,39	0,139
	53	21200	6654,23	0,157
	68	27200	7891,97	0,145
	83	33200	8168,34	0,123
	83	33200	8168,34	0,123
15%	8	3200	1051,07	0,164
	23	9200	2458,25	0,134
	38	15200	3867,24	0,127
	53	21200	5422,61	0,128
	68	27200	7224,96	0,133
	83	33200	9133,88	0,138
	83	33200	9133,88	0,138
30%	8	3200	984,79	0,154
	23	9200	2264,49	0,123
	38	15200	3482,64	0,115
	53	21200	4865,50	0,115
	68	27200	6288,32	0,116
	83	33200	7921,36	0,119
	83	33200	7921,36	0,119



Graf 10: Závislost koeficientu tření na kontaktním tlaku pro materiál Voest Alpine a kalené čelisti

Tab.16: Výsledky měření materiálu Voest Alpine a nekalených čelistí

Deformace	Kontaktní tlak p [MPa]	Normálová síla F_N [N]	Maximální síla F_h [N]	Součinitel tření μ [-]
0%	8	3200	996,11	0,156
	23	9200	2681,74	0,146
	38	15200	4456,58	0,147
	53	21200	6161,60	0,145
	68	27200	6928,10	0,127
	83	33200	7166,60	0,108
15%	8	3200	920,04	0,144
	23	9200	2338,89	0,127
	38	15200	3873,22	0,127
	53	21200	5636,24	0,133
	68	27200	7408,23	0,136
	83	33200	9148,47	0,138
30%	8	3200	842,09	0,132
	23	9200	2136,66	0,116
	38	15200	3569,27	0,117
	53	21200	5050,44	0,119
	68	27200	6619,15	0,122
	83	33200	8201,06	0,124



Graf 11: Závislost koeficientu tření na kontaktním tlaku pro materiál Voest Alpine a nekalené čelisti

4 Rozbor výsledků

4.1 Rozbor kontaktních tlaků

Podle naměřených výsledků v tabulkách 8 a 9 a ze zpracovaných sloupcových grafů 3 a 4 je patrné, že se maximální tažná síla F_h v ustálené části grafu pro všechny materiály zvyšuje s rostoucím kontaktním tlakem. Totéž platí i pro zbytek měření přiložených v přílohách P1, P2, P3 a P4. Mezi hodnotami 8-23 MPa se maximální tažná síla zvyšuje průměrně o 149%, mezi 23-38 MPa se zvýší o 63% mezi 38-53 MPa o 41%, mezi 53-68 MPa o 26% a mezi 68-83 MPa v průměru o 19%. Dále je možné pozorovat, že s rostoucí deformací materiálů se velikost maximální tažné síly u všech použitých kontaktních tlaků nepatrně zmenšuje. To znamená, že při procesu tažení dochází s rostoucí deformací k poklesu velikosti potřebné tažné síly.

4.2 Rozbor vlivu deformace

Z naměřených hodnot je patrné, že průběhy závislostí koeficientů tření na velikostech kontaktního tlaku jsou u obou materiálů při nulové deformaci podobné křivky. Průběhy křivek všech materiálů mají od tlaku 8 MPa do hodnoty kolem 23 MPa klesající charakter, poté do 53 MPa rostou a od této hodnoty opět klesají. Nárůst koeficientu tření od hodnoty 38 MPa způsobuje výraznější zadírání plechu. Nižšího koeficientu tření dosahují materiály s použitím nekalených zkušebních čelistí.

Při hodnocení materiálů s 15% deformací si lze povšimnout, že do hodnoty kontaktního tlaku 23 MPa jsou výsledky rozdílné a od této hodnoty až do konce rozmezí zkoušených tlaků mají křivky podobný charakter. Mezi kontaktními tlaky 8 až 23 MPa má materiál A15 s použitím nekalených zkušebních čelistí o 17% menší koeficient tření než při použití kalených čelistí. Materiál V15 má v tomto rozmezí tlaků koeficient tření o 12% menší než při použití kalených čelistí.

Křivky koeficientů tření pro materiály s 30% deformací jsou mezi hodnotami 8 až 23 MPa výrazně rozdílné. Od hodnoty tlaku 23 MPa až do konečné hodnoty 83 MPa mají podobný průběh bez větších změn. Mezi tlaky 8 až 23 MPa má materiál A30 při použití nekalených čelistí o 20% nižší hodnotu koeficientu tření oproti materiálům s použitými kalenými čelistmi. Materiál V30 s nekalenými čelistmi má v porovnání s materiály s použitými kalenými čelistmi o 14% nižší koeficient tření.

Z měření je patrné, že s rostoucí deformací materiálu dochází k poklesu koeficientu tření a tím k usnadnění tažení a snížení vzniku zadírání a dalších vad. Nejlépe ze zkoušených kombinací parametrů vychází materiál od výrobce Arcelor Mittal.

4.3 Rozbor vlivu materiálů a použitých čelistí

Oba zkoumané materiály byly od různých výrobců, ale měly podobné chemické složení, mechanické vlastnosti i povrchovou úpravu. Z těchto údajů bylo možné předpokládat, že materiály budou mít podobné tribologické vlastnosti, což potvrdilo i samotné měření.

Lze vypožorovat, že koeficient tření materiálů od Voest Alpine i Arcelor Mittal se použitím nekalených čelistí snižuje. Nejvýraznější snížení koeficientu tření je v oblasti nižších kontaktních tlaků do hodnoty 23 MPa. Při tlaku čelistí 8 MPa se u materiálu Arcelor Mittal velikost koeficientu tření snížila průměrně o 15% a při tlaku 23 MPa v průměru o 5%. Při vyšších hodnotách tlaků se koeficient tření lišil maximálně o $\pm 2\%$. U materiálu Voest Alpine se koeficient tření při tlaku 8 MPa snížil v průměru o 13%, další hodnoty tlaků měnily koeficient tření do $\pm 2\%$. Při hlubokém tažení se vyskytují tlaky do hodnoty cca 20 MPa, z čehož vyplývá, že materiál od výrobce Arcelor Mittal se pro tažení hodí lépe.

Po provedeném měření je patrné, že použití nekalených čelistí snižuje koeficient tření a usnadňuje tak proces hlubokého tažení. Z naměřených hodnot lze určit, že pro tažení je vhodnější použít nástroje z nekaleného materiálu GGG 70L.

5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zhodnocení vlivu deformace na změnu tribologických vlastností plechu s povrchovou ochrannou vrstvou Zn-Mg. Tato práce byla zadána s ohledem na požadavky firmy Škoda Auto, a.s., která začala tyto materiály používat při výrobě karoserií osobních automobilů. Jednalo se o první měření tohoto druhu materiálu, který bude na Katedře strojírenské technologie TU v Liberci podroben dalšímu tribologickému výzkumu.

Teoretická část obsahuje základní informace k pochopení dané problematiky a způsoby provádění a vyhodnocování tribologických zkoušek. Experimentální část v sobě zahrnuje charakteristiku testovaných materiálů, použitých nástrojů a maziva, popis zařízení a metodiku zkoušky protahování pásku. Naměřené výsledky jsou zpracovány do přehledných tabulek a grafů.

Experimentální měření vycházelo z podmínek vyskytujících se běžně v praxi při výrobě tažených výlisků karosářského typu. Pro testy byly použity dva typy plechů s povlakem Zn-Mg od různých výrobců. Jednalo se o materiál DX56D ZM90 BO od firmy Voest Alpine a DX57D ZM90 BO od dodavatele Arcelor Mittal. Pro dosažení vhodných tribologických podmínek během testování bylo použito mazivo typu prelube ANTICORIT PL 3802-39S. Zkoušky byly provedeny na kalených a nekalených zkušebních čelistech z tvárné litiny GGG 70L při působení kontaktních tlaků od 8 do 83 MPa.

Výsledkem provedeného experimentu bylo posouzení tribologických vlastností a použitelnosti Zn-Mg plechů při různých hodnotách deformace a porovnání vhodnosti obou materiálů pro hluboké tažení.

Z naměřených hodnot je patrné, že u obou materiálů s rostoucí deformací klesá velikost tažné síly a tím i koeficient tření, který má v tribologii zásadní význam. S mírou deformace dochází k poškození povrchu povlaku a při vysokém kontaktním tlaku může dojít až k úplnému oddělení krycí vrstvy. Tento jev může mít za následek zkreslení výsledků průběhu zkoušky. Z měření vyplývá, že nepatrně nižší koeficient tření má materiál od výrobce Arcelor Mittal. Posouzení vhodnosti materiálů pro tažení ale není jednoznačné, protože oba druhy plechů dosahují přibližně stejných hodnot mechanických i tribologických parametrů.

Při měření této práce bylo použito příliš mnoho proměnných, které zkoušku značně komplikovaly. Na závěr lze tedy doporučit snížení počtu technologických podmínek při dalším zkoumání Zn-Mg povlaků a zúžit tak počet proměnných vstupujících do testu. Při dalších měřeních by bylo výhodné věnovat větší pozornost poškození povrchu povlaku.

6 Seznam literatury

- [1] LENFELD P.: *Technologie II. – 1. část (tváření kovů)*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-466-5
- [2] ŽÍDEK M., DĚDEK V., SOMMER B.: *Tváření oceli*. Praha: SNTL, 1988. 520 s. ISBN 04-408-88
- [3] DVOŘÁK M., MAREČKOVÁ M.: *Technologie tváření*. Studijní opory pro kombinované studium. Brno: VUT v Brně, 2006. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/
- [4] TIŠNOVSKÝ M., MÁDLE L.: *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 04-212-90
- [5] KOLNEROVÁ M.: *Vliv technologických podmínek na vznik zadírání pozinkovaných plechů při tažení*. Disertační práce. Liberec: TU v Liberci, 2001. 202 s.
- [6] BLAŽKOVIČ P., BALLA J., DZIMKO M.: *Tribologie*. 1. vyd. Bratislava : Alfa, 1990. 360 s. ISBN 80-05-00 633-0
- [7] KOLNEROVÁ M.: *Tribologie*. Studijní materiály k předmětu Speciální technologie. Liberec: KSP TU v Liberci. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/tribologie.pdf
- [8] BRENDL H. a kol.: *Tribotechnika*. Praha: SNTL, 1984. 294 s. ISBN 04-244-84
- [9] KOLNEROVÁ M.: *Povrchy povlaků- mikrogeometrie*. Studijní materiály k předmětu Metody tváření kovů a plastů. Liberec: KSP TU v Liberci. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/mtk/Povrchypovlaku.pdf
- [10] SOLFRONK P.: *Tribologie a maziva v automobilovém průmyslu*. Přednáška č. 2. Podklady k Teorii a technologii zpracování plechů. Dostupné z: http://www.techno-mat.cz/data/katedry/ksp/KSP_TZP_PR_02_CZE_Solfronk_Tribologie_a_maziva_v_automobilovem_prumyslu.pdf
- [11] KOHOUT L.: *Vliv Porovnání koeficientu tření zjišťovaného při tribologickém testu za různých podmínek regulací tlaku*. Diplomová práce. Liberec: TU v Liberci, 2007. 84 s.
- [12] PEXA M.: *Maziva, mazací soustavy a zařízení*. Podklady k předmětu Technická diagnostika. Praha: ČZU. Dostupné z: http://tf.czu.cz/~pexa/Predmety/PUS/Prednasky/9_Mazani_RGB.pdf
- [13] FAMFULÍK J., MÍKOVÁ J., KRZYŽANEK R.: *Opotřebení strojních soustav a vznik poruch*. Učební text k předmětu Teorie údržby. Ostrava: VŠB. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TU/TU/4kapitola.pdf>
- [14] SUCHÁNEK J.: *Opotřebení materiálů*. Článek v časopise Tribotechnika [online]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42009/opotrebeni-materialu.html>

- [15] ČÁBELOVÁ K.: *Porovnání vlivu velikosti kontaktní plochy na koeficient tření při tribologickém testování*. Diplomová práce. Liberec: TU v Liberci, 2008. 66 s.
- [16] NĚNIČKA F.: *Tažení plechu a jeho verifikace počítačovou simulací*. Diplomová práce. Brno: VUT, 2012. 71 s.
- [17] KOLNEROVÁ M.: *Materiály na tváření kovů*. Studijní podklady k předmětu Metody tváření kovů a plastů. Liberec: KSP TU v Liberci. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/mtk/MTK2.pdf
- [18] KOLNEROVÁ M.: *Pevnostní materiály v karoserii*. Studijní podklady k předmětu Metody tváření kovů a plastů. Liberec: KSP TU v Liberci. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/mtk/MTK3.pdf
- [19] Abušinov A.: *O veletrhu EuroBlech*. Článek v časopise MM průmyslové spektrum [online]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/o-veletrhu-euroblech-2008-podruhe.html>
- [20] KUKLÍK V.: *Povlaky žárového zinku a jejich životnost*. Článek v časopise Tribotechnika [online]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12013/povlaky-zaroveho-zinku-a-jejich-zivotnost.html>
- [21] VOEST ALPINE: *Feuerverzinktes Stahlband ZinkMagnesium*. Internetové stránky výrobce. Článek a Pdf soubor ke stažení. Dostupné z:
<http://www.voestalpine.com/stahl/Automobil/Automobilindustrie/Feuerverzinktes-Stahlband-ZinkMagnesium>
- [22] VOEST ALPINE: *Colofer ZinkMagnesium*. Internetové stránky výrobce. Článek a Pdf soubory ke stažení. Dostupné z: <http://www.voestalpine.com/colofer/Dach-Wand-Entwaesserung/colofer-R-ZinkMagnesium>

7 Seznam příloh

- Příloha 1 Výsledky tažných sil při kontaktních tlacích 23, 38, 53, 68 a 83 MPa a při použití kalených čelistí
- Příloha 2 Výsledky tažných sil při kontaktních tlacích 23, 38, 53, 68 a 83 MPa a při použití nekalených čelistí
- Příloha 3 Grafy tažných sil při působení tlaku 23, 38, 53, 68 a 83 MPa a při použití kalených čelistí
- Příloha 4 Grafy tažných sil při působení tlaku 23, 38, 53, 68 a 83 MPa a při použití nekalených čelistí
- Příloha 5 Výsledné protokoly ze zkoušek protahováním pásku

Výsledky tažných sil všech materiálů při kontaktním tlaku 23 MPa a při použití kalených čelistí

Kontaktní tlak 23 MPa, kalené čelisti			
Materiál	F_{\max} [N]	F_s [N]	ΔF [N]
A0	2694,11	2258,55	801,38
V0	2596,85	2267,02	601,57
A15	2529,18	2166,04	614,98
V15	2513,76	2207,07	502,37
A30	2360,29	2109,32	450,54
V30	2337,92	2065,90	397,18

Výsledky tažných sil všech materiálů při kontaktním tlaku 38 MPa a při použití kalených čelistí

Kontaktní tlak 38 MPa, kalené čelisti			
Materiál	F_{\max} [N]	F_s [N]	ΔF [N]
A0	4319,23	3585,42	1467,63
V0	4237,39	3611,47	1251,84
A15	3890,58	3226,80	1302,42
V15	3946,37	3305,17	1124,15
A30	3688,48	3132,59	1051,07
V30	3620,12	3090,04	785,19

Výsledky tažných sil všech materiálů při kontaktním tlaku 53 MPa a při použití kalených čelistí

Kontaktní tlak 53 MPa, kalené čelisti			
Materiál	F_{\max} [N]	F_s [N]	ΔF [N]
A0	6774,35	5329,97	2849,18
V0	6717,52	5305,13	2698,21
A15	5486,46	4351,40	2270,12
V15	5427,75	4443,73	1957,76
A30	5113,66	4104,35	1873,42
V30	4973,47	4093,45	1544,12

Výsledky tažných sil všech materiálů při kontaktním tlaku 68 MPa a při použití kalených čelistí

Kontaktní tlak 68 MPa, kalené čelisti			
Materiál	F_{\max} [N]	F_s [N]	ΔF [N]
A0	7813,60	6383,50	2784,22
V0	7970,06	6410,38	2963,18
A15	7359,95	5516,64	3686,61
V15	7231,28	5640,34	3169,24
A30	6585,18	5061,77	2917,89
V30	6295,68	5056,04	2464,57

Výsledky tažných sil všech materiálů při kontaktním tlaku 83 MPa a při použití kalených čelistí

Kontaktní tlak 83 MPa, kalené čelisti			
Materiál	F_{\max} [N]	F_s [N]	ΔF [N]
A0	8008,96	6818,29	2149,99
V0	8351,05	6897,98	2540,72
A15	9838,27	7036,75	5603,03
V15	9160,35	6909,48	4448,80
A30	8403,92	6247,19	4286,79
V30	7921,36	6160,52	3521,68

Výsledky tažných sil všech materiálů při kontaktním tlaku 23 MPa a při použití nekalených čelistí

Kontaktní tlak 23 MPa, nekalené čelisti			
Materiál	F_{\max} [N]	F_s [N]	ΔF [N]
A0	2689,87	2289,98	687,09
V0	2735,52	2392,77	577,95
A15	2363,07	2090,94	522,30
V15	2373,07	2129,15	419,48
A30	2167,85	1921,71	470,06
V30	2168,34	1940,32	392,66

Výsledky tažných sil všech materiálů při kontaktním tlaku 38 MPa a při použití nekalených čelistí

Kontaktní tlak 38 MPa, nekalené čelisti			
Materiál	F_{\max} [N]	F_s [N]	ΔF [N]
A0	4510,56	3670,56	1666,53
V0	4508,06	3754,45	1404,27
A15	3926,22	3270,60	1299,30
V15	3914,69	3459,43	827,57
A30	3580,73	3350,29	460,89
V30	3570,52	3348,90	440,74

Výsledky tažných sil všech materiálů při kontaktním tlaku 53 MPa a při použití nekalených čelistí

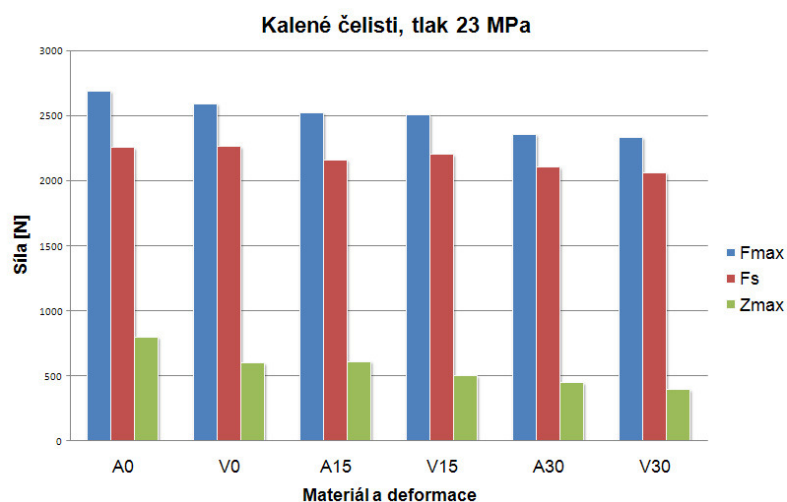
Kontaktní tlak 53 MPa, nekalené čelisti			
Materiál	F_{\max} [N]	F_s [N]	ΔF [N]
A0	6917,33	5128,32	2889,82
V0	6231,07	5024,39	2274,42
A15	5569,47	4343,93	2373,98
V15	5658,75	4600,78	2070,93
A30	5119,64	4237,91	1763,44
V30	5059,13	4254,69	1591,50

Výsledky tažných sil všech materiálů při kontaktním tlaku 68 MPa a při použití nekalených čelistí

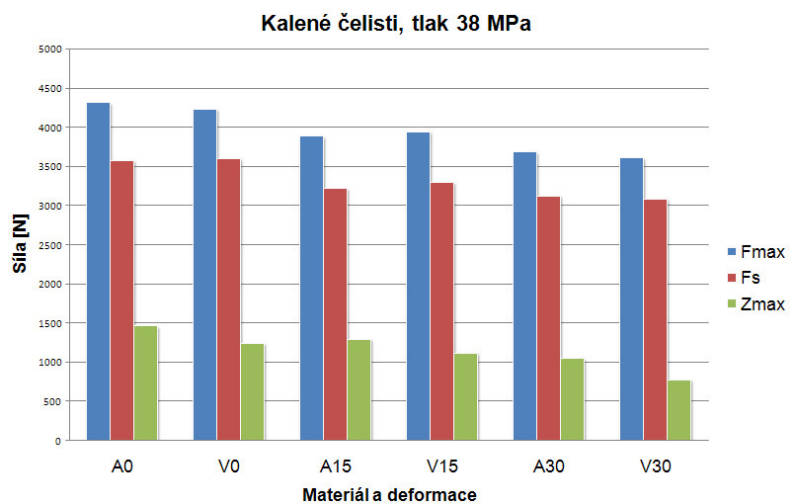
Kontaktní tlak 68 MPa, nekalené čelisti			
Materiál	F_{\max} [N]	F_s [N]	ΔF [N]
A0	8145,62	5985,20	2957,76
V0	7168,20	5771,40	2313,40
A15	7457,62	5985,20	3886,97
V15	7473,33	5750,73	3314,99
A30	6656,39	5085,98	2936,30
V30	6671,46	5289,08	2660,14

Výsledky tažných sil všech materiálů při kontaktním tlaku 83 MPa a při použití nekalených čelistí

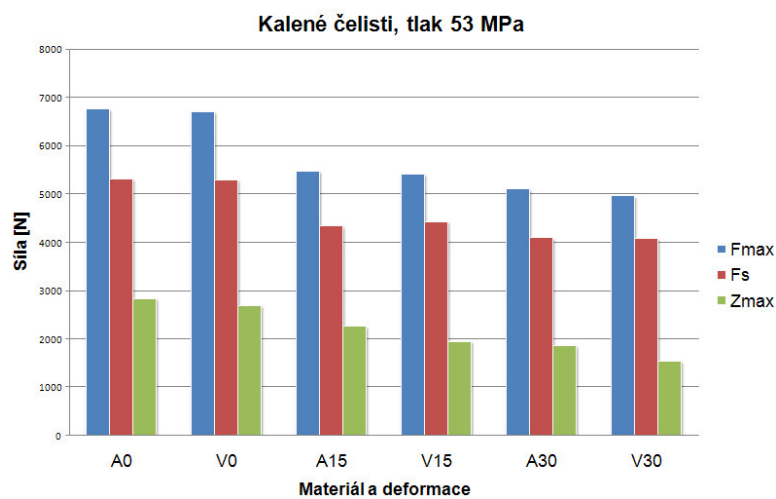
Kontaktní tlak 83 MPa, nekalené čelisti			
Materiál	F_{\max} [N]	F_s [N]	ΔF [N]
A0	8145,62	6484,79	2377,10
V0	7477,70	6132,00	2069,20
A15	9774,35	8108,21	3332,29
V15	9178,48	6787,59	4721,76
A30	8511,05	6241,28	4539,53
V30	8238,02	6298,39	3805,34



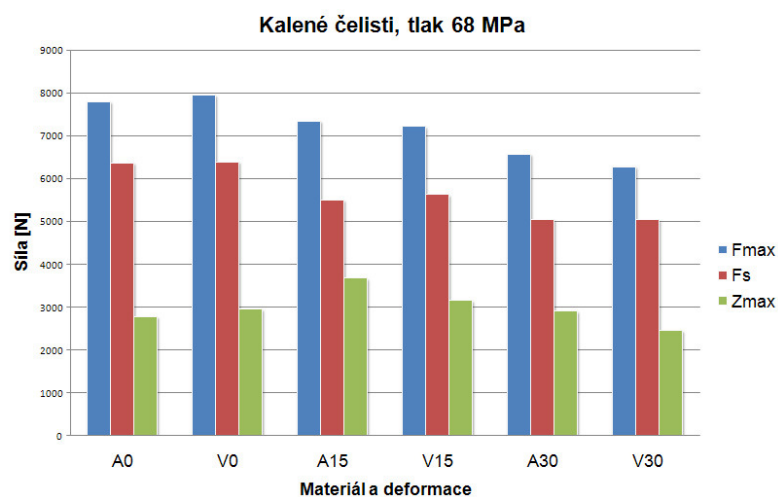
Graf: Velikosti maximální, střední a horní síly u všech zkoušených materiálů při působení tlaku 23 MPa a při použití kalených čelistí



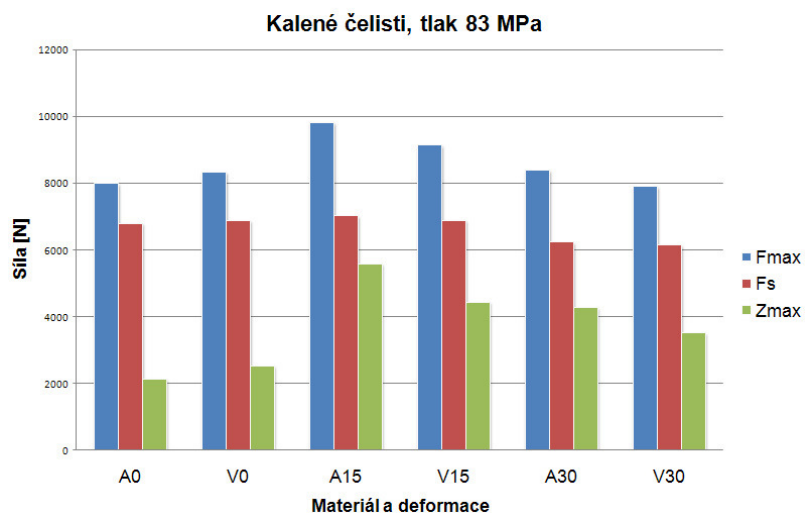
Graf: Velikosti maximální, střední a horní síly u všech zkoušených materiálů při působení tlaku 38 MPa a při použití kalených čelistí



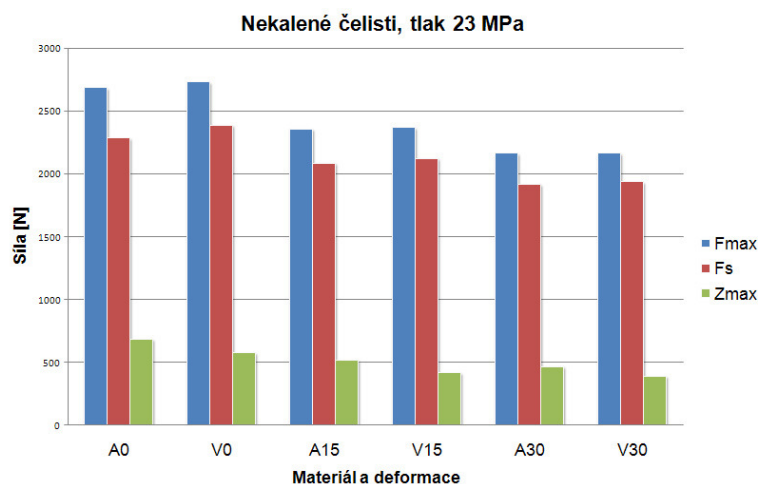
Graf: Velikosti maximální, střední a horní síly u všech zkoušených materiálů při působení tlaku 53 MPa a při použití kalených čelistí



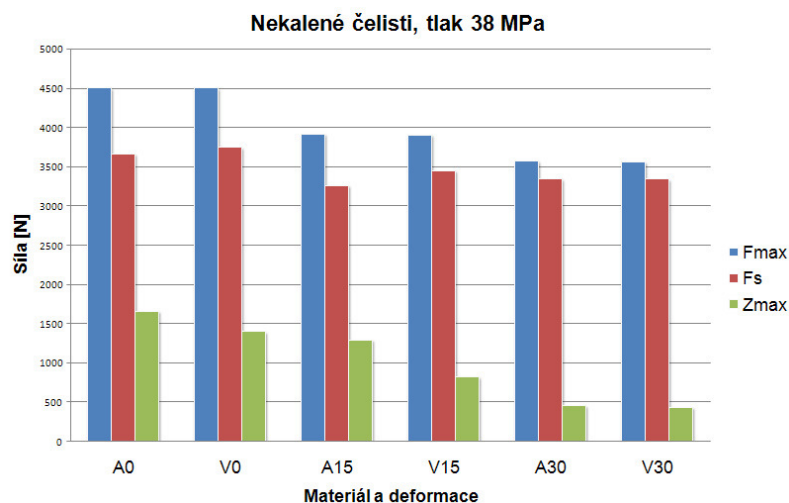
Graf: Velikosti maximální, střední a horní síly u všech zkoušených materiálů při působení tlaku 68 MPa a při použití kalených čelistí



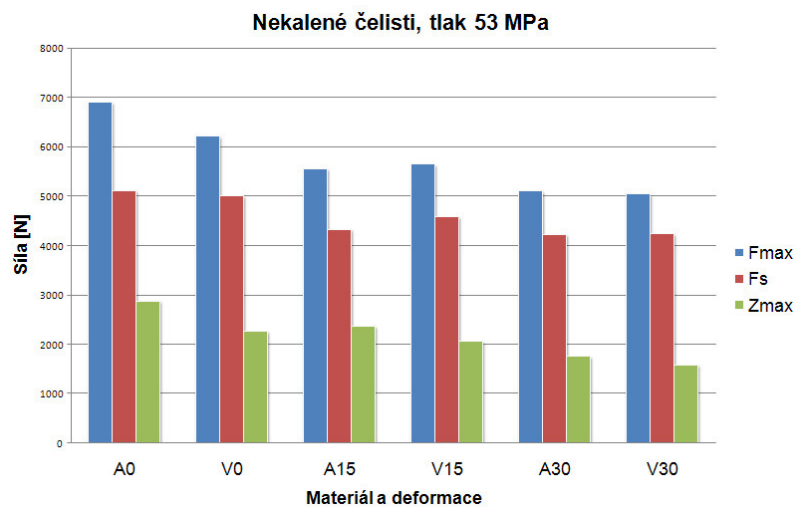
Graf: Velikosti maximální, střední a horní síly u všech zkoušených materiálů při působení tlaku 83 MPa a při použití kalených čelistí



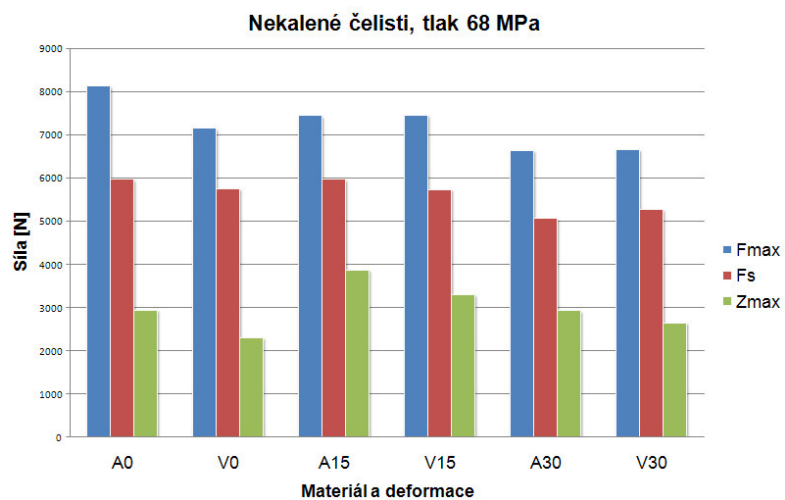
Graf: Velikosti maximální, střední a horní síly u všech zkoušených materiálů při působení tlaku 23 MPa a při použití nekalených čelistí



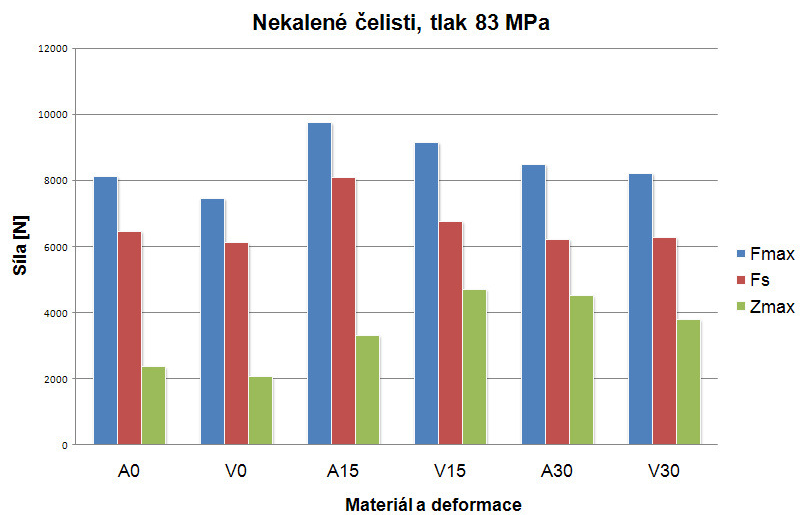
Graf: Velikosti maximální, střední a horní síly u všech zkoušených materiálů při působení tlaku 38 MPa a při použití nekalených čelistí



Graf: Velikosti maximální, střední a horní síly u všech zkoušených materiálů při působení tlaku 53 MPa a při použití nekalených čelistí



Graf: Velikosti maximální, střední a horní síly u všech zkoušených materiálů při působení tlaku 68 MPa a při použití nekalených čelistí



Graf: Velikosti maximální, střední a horní síly u všech zkoušených materiálů při působení tlaku 83 MPa a při použití nekalených čelistí

Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

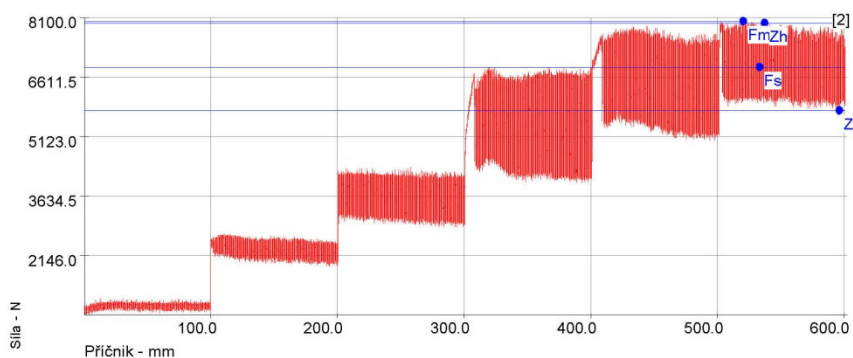
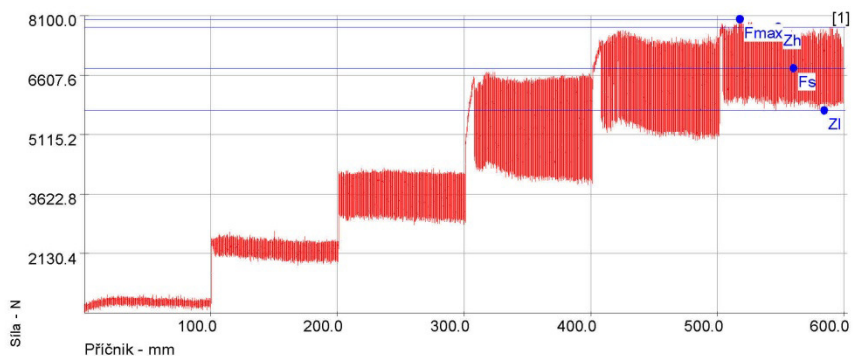
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	Anticorit PL 3802-39S	Kontaktní plocha :	20 mm x 20 mm
Množství maziva :	1,5 ± 0,1 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	Arcelor ZnMg 0% def.	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,21/1,19 µm PC=52/51 1/cm	Teplota :	60 °C
Materiál nástroje :	GGG 70L, kaleno	Frekvence snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	8 - 83 MPa (á 15 MPa)	Měřená délka :	600 mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	Z _I N	Z _h N	Z _{max} N
1	8008	6775	5725	7826	2101
2	8010	6861	5762	7961	2199
x	8009	6818	5743	7893	2150
s	1.47	60.77	26.04	95.50	69.46



Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

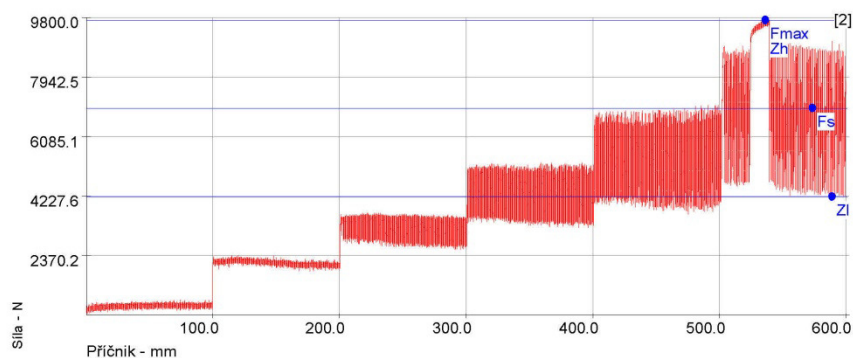
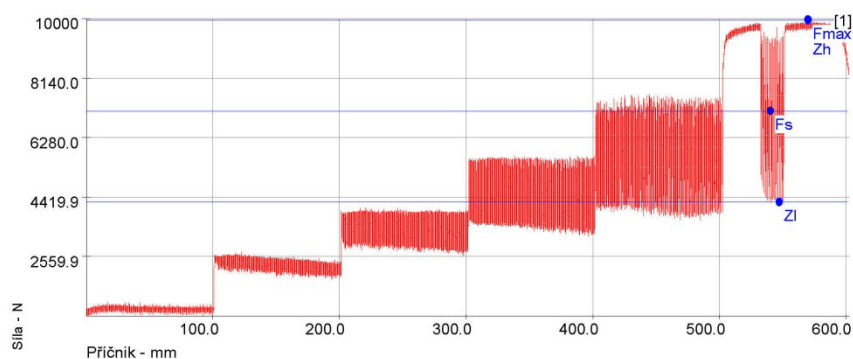
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	Anticorit PL 3802-39S	Kontaktní plocha :	20 mm x 20 mm
Množství maziva :	1,5 ± 0,1 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	Arcelor ZnMg 15% def.	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,49/1,42 μm PC=66/62 1/cm	Teplota :	60 °C
Materiál nástroje :	GGG 70L, kaleno	Frekvence snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	8 - 83 MPa (á 15 MPa)	Měřená délka :	600 mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	Z _I N	Z _h N	Z _{max} N
1	9950	7108	4266	9950	5684
2	9727	6966	4205	9727	5522
x	9838	7037	4235	9838	5603
s	157.99	100.51	43.03	157.99	114.95



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie

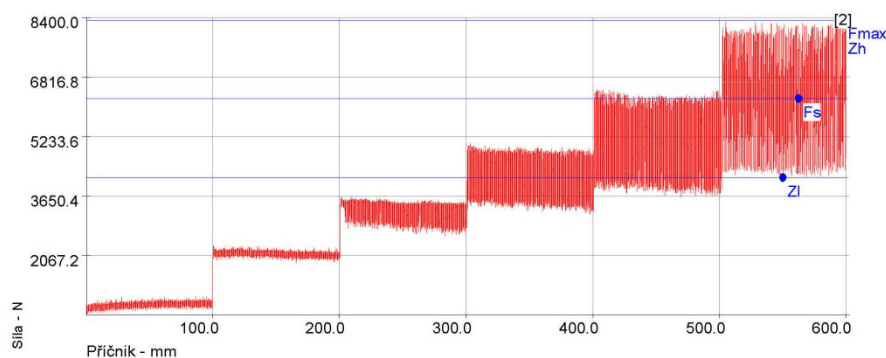
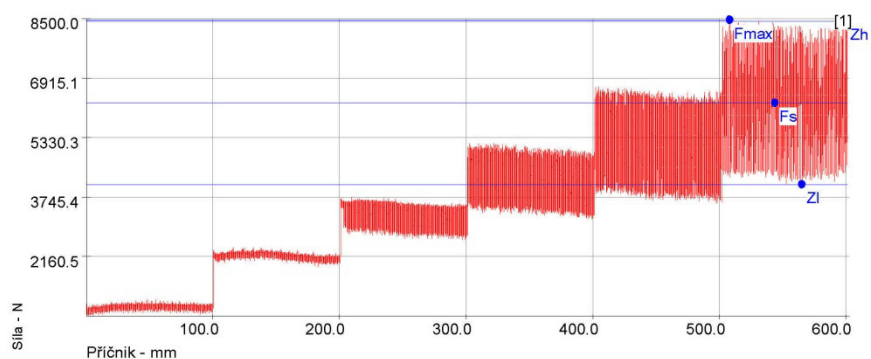
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	Anticorit PL 3802-39S	Kontaktní plocha :	20 mm x 20 mm
Množství maziva :	1,5 ± 0,1 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	Arcelor ZnMg 30% def.	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,77/1,81 μm PC=69/72 1/cm	Teplota :	60 °C
Materiál nástroje :	GGG 70L, kaleno	Frekvence snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	8 - 83 MPa (á 15 MPa)	Měřená délka :	600 mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	Z _I N	Z _h N	Z _{max} N
1	8468	6259	4076	8441	4365
2	8340	6236	4131	8340	4209
x	8404	6247	4104	8391	4287
s	90.19	16.21	38.91	71.33	110.24



Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

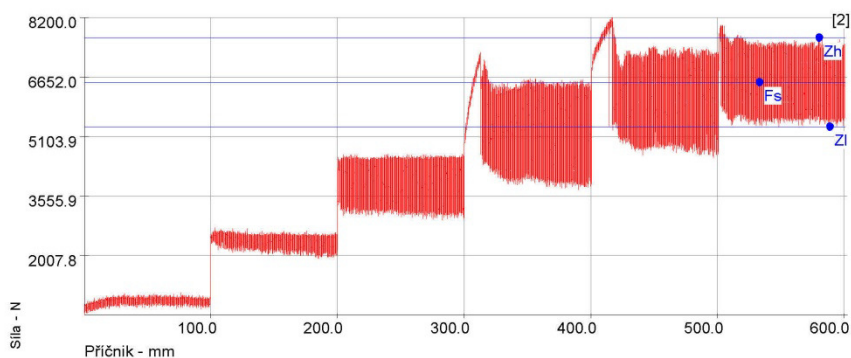
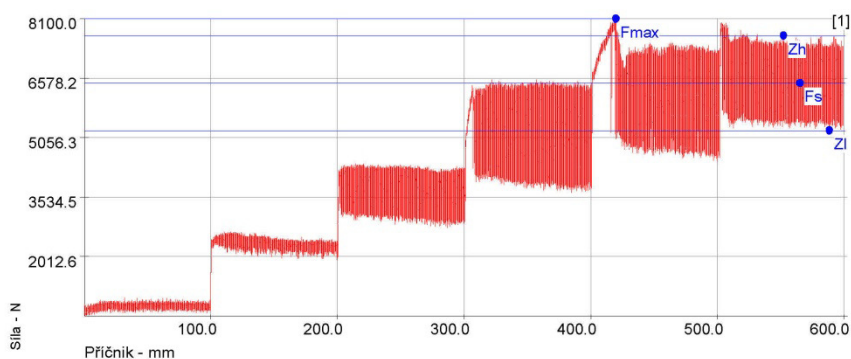
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	Anticorit PL 3802-39S	Kontaktní plocha :	20 mm x 20 mm
Množství maziva :	1,5 ± 0,1 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	Arcelor ZnMg 0% def.	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,21/1,19 µm PC=52/51 1/cm	Teplota :	60 °C
Materiál nástroje :	GGG 70L, nekaleno	Frekvence snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	8 - 83 MPa (á 15 MPa)	Měřená délka :	600 mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	Z _i N	Z _h N	Z _{max} N
1	8091	6453	5242	7665	2423
2	8200	6516	5351	7682	2331
x	8146	6485	5296	7673	2377
s	76.64	44.41	76.83	11.99	64.84



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie

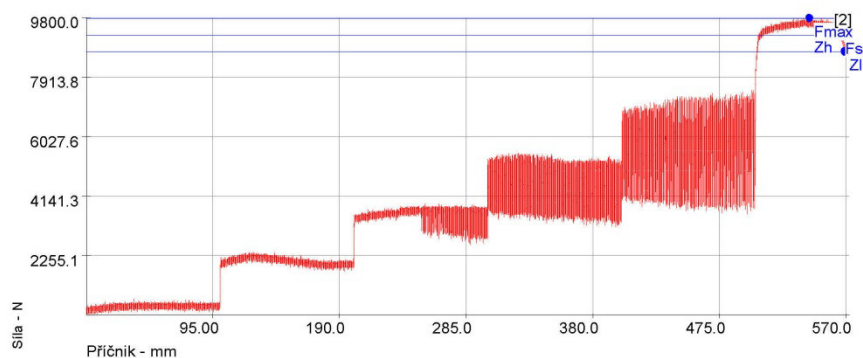
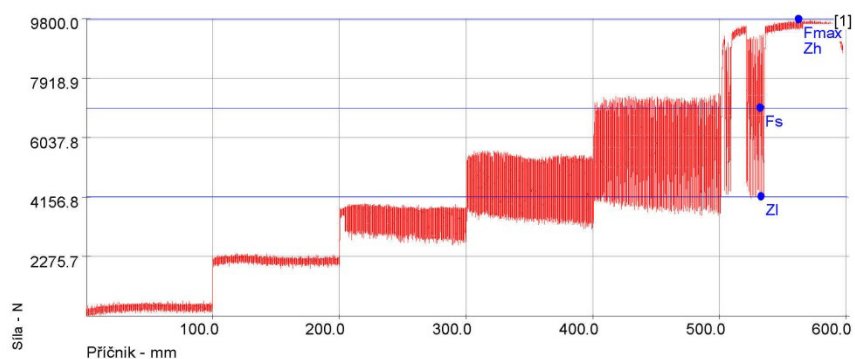
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	Anticorit PL 3802-39S	Kontaktní plocha :	20 mm x 20 mm
Množství maziva :	1,5 ± 0,1 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	Arcelor ZnMg 15% def.	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,49/1,42 μm PC=66/62 1/cm	Teplota :	60 °C
Materiál nástroje :	GGG 70L, nekaleno	Frekvence snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	8 - 83 MPa (á 15 MPa)	Měřená délka :	600 mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	Z _i N	Z _h N	Z _{max} N
1	9777	6969	4162	9777	5616
2	9772	9247	8723	9772	1049
x	9774	8108	6442	9774	3332
s	3.93	1610.57	3225.06	3.93	3228.99



Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

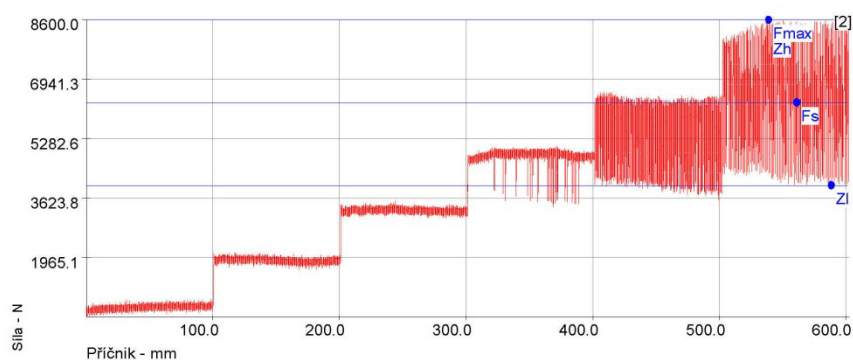
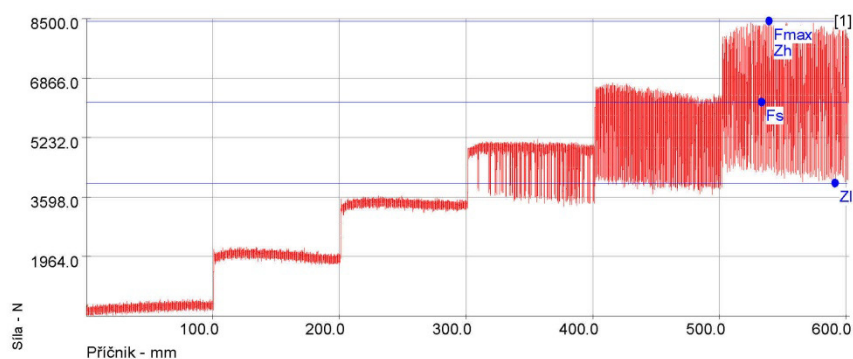
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	Anticorit PL 3802-39S	Kontaktní plocha :	20 mm x 20 mm
Množství maziva :	1,5 ± 0,1 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	Arcelor ZnMg 30% def.	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,77/1,81 µm PC=69/72 1/cm	Teplota :	60 °C
Materiál nástroje :	GGG 70L, nekaleno	Frekvence snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	8 - 83 MPa (á 15 MPa)	Měřená délka :	600 mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	Z _I N	Z _h N	Z _{max} N
1	8427	6205	3982	8427	4446
2	8595	6278	3961	8595	4633
x	8511	6241	3972	8511	4540
s	118.29	51.97	14.34	118.29	132.64



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie

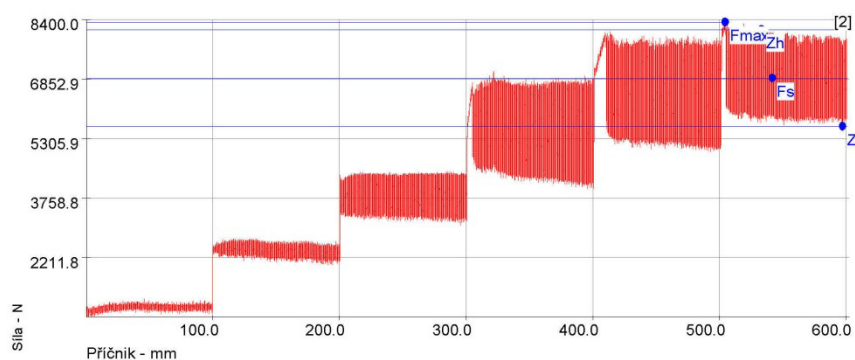
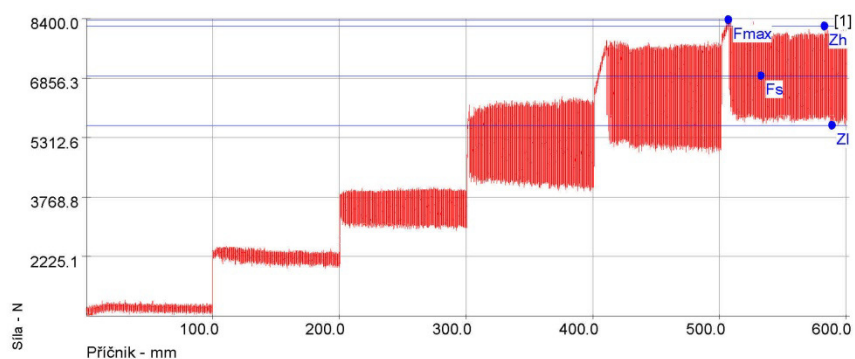
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	Anticorit PL 3802-39S	Kontaktní plocha :	20 mm x 20 mm
Množství maziva :	1,5 ± 0,1 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	Voest ZnMg 0% def.	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,19/1,29 μm PC=50/51 1/cm	Teplota :	60 °C
Materiál nástroje :	GGG 70L, kaleno	Frekvence snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	8 - 83 MPa (á 15 MPa)	Měřená délka :	600 mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	Z _I N	Z _h N	Z _{max} N
1	8373	6917	5631	8203	2572
2	8329	6879	5624	8134	2510
x	8351	6898	5628	8168	2541
s	31.54	26.87	4.91	48.83	43.92



Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

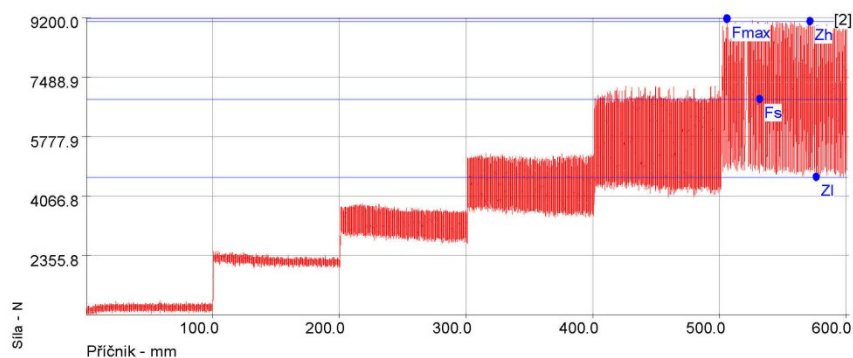
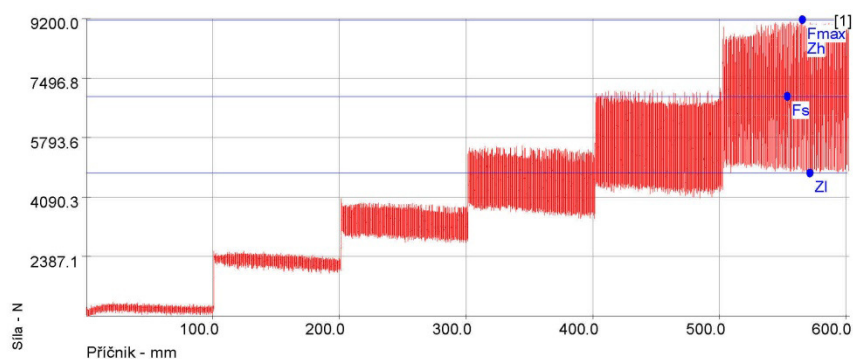
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	Anticorit PL 3802-39S	Kontaktní plocha :	20 mm x 20 mm
Množství maziva :	1,5 ± 0,1 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	Voest ZnMg 15% def.	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,43/1,33 μm PC=63/57 1/cm	Teplota :	60 °C
Materiál nástroje :	GGG 70L, kaleno	Frekvence snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	8 - 83 MPa (á 15 MPa)	Měřená délka :	600 mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	Z _l N	Z _h N	Z _{max} N
1	9163	6966	4769	9163	4394
2	9157	6853	4601	9104	4503
x	9160	6909	4685	9134	4449
s	4.13	80.17	118.78	41.56	77.22



Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

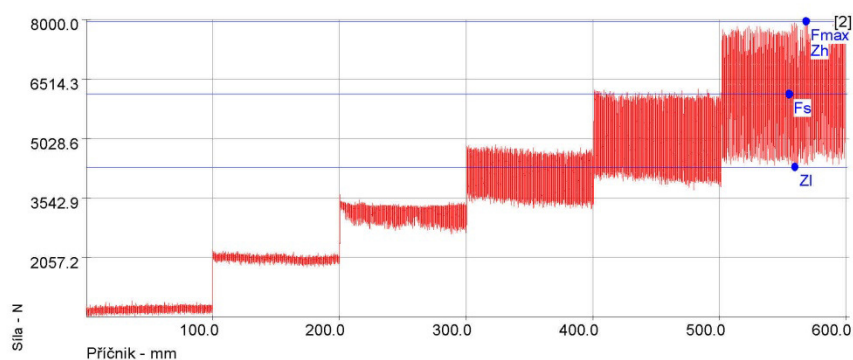
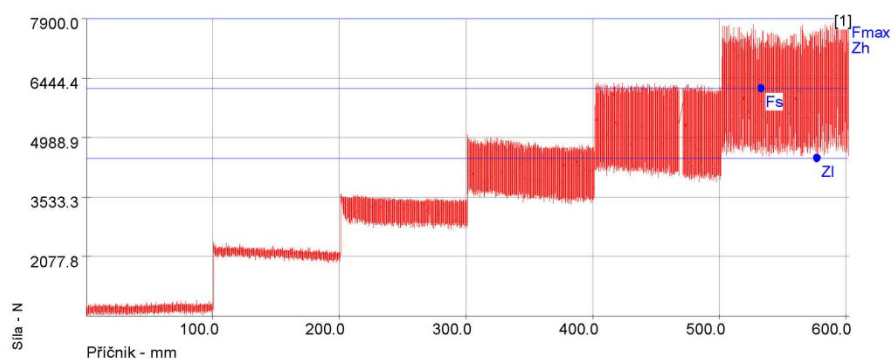
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	Anticorit PL 3802-39S	Kontaktní plocha :	20 mm x 20 mm
Množství maziva :	1,5 ± 0,1 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	Voest ZnMg 30% def.	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,93/1,88 µm PC=67/68 1/cm	Teplota :	60 °C
Materiál nástroje :	GGG 70L, kaleno	Frekvence snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	8 - 83 MPa (á 15 MPa)	Měřená délka :	600 mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	Z _I N	Z _h N	Z _{max} N
1	7894	6189	4483	7894	3411
2	7948	6132	4316	7948	3632
x	7921	6161	4400	7921	3522
s	38.32	40.04	118.39	38.32	156.71



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie

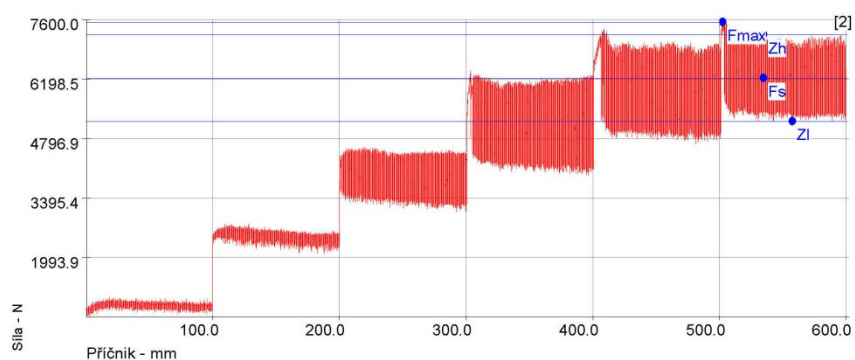
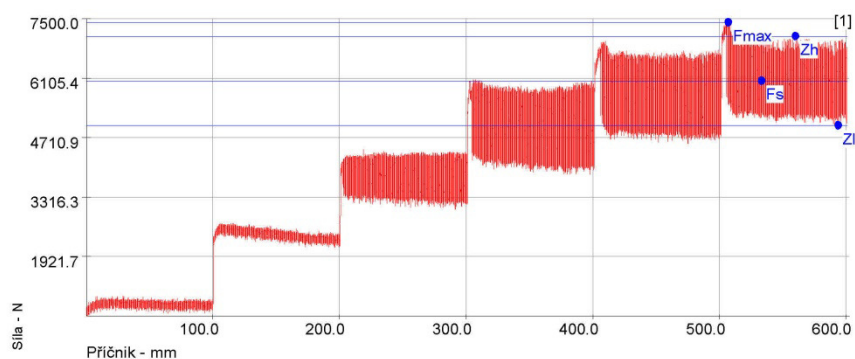
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	Anticorit PL 3802-39S	Kontaktní plocha :	20 mm x 20 mm
Množství maziva :	1,5 ± 0,1 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	Voest ZnMg 0% def.	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,19/1,29 μm PC=50/51 1/cm	Teplota :	60 °C
Materiál nástroje :	GGG 70L, nekaleno	Frekvence snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	8 - 83 MPa (á 15 MPa)	Měřená délka :	600 mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	Z _I N	Z _h N	Z _{max} N
1	7418	6045	5002	7088	2086
2	7538	6219	5193	7245	2053
x	7478	6132	5097	7167	2069
s	85.08	123.01	134.60	111.42	23.19



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie

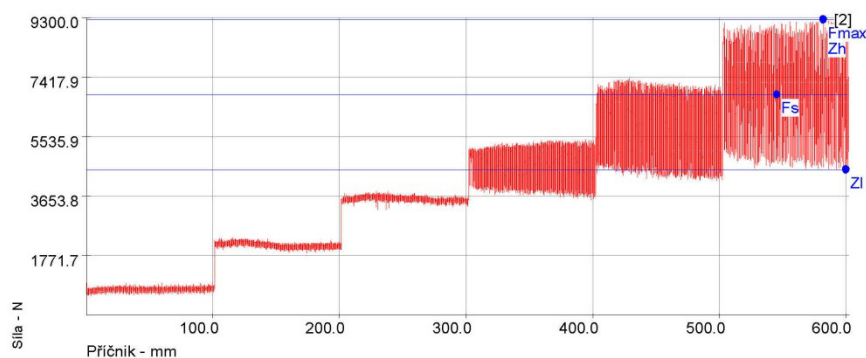
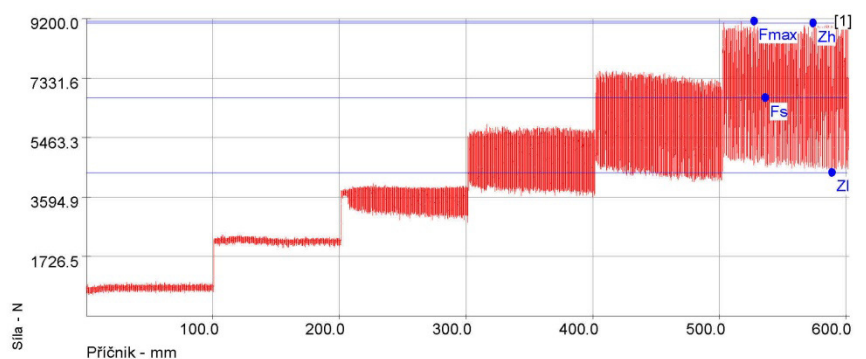
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	Anticorit PL 3802-39S	Kontaktní plocha :	20 mm x 20 mm
Množství maziva :	1,5 ± 0,1 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	Voest ZnMg 15% def.	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,43/1,33 μm PC=63/57 1/cm	Teplota :	60 °C
Materiál nástroje :	GGG 70L, nekaleno	Frekvence snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	8 - 83 MPa (á 15 MPa)	Měřená délka :	600 mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	Z _I N	Z _h N	Z _{max} N
1	9122	6709	4356	9062	4706
2	9235	6866	4497	9235	4738
x	9178	6788	4427	9148	4722
s	79.68	110.87	99.63	122.12	22.50



Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

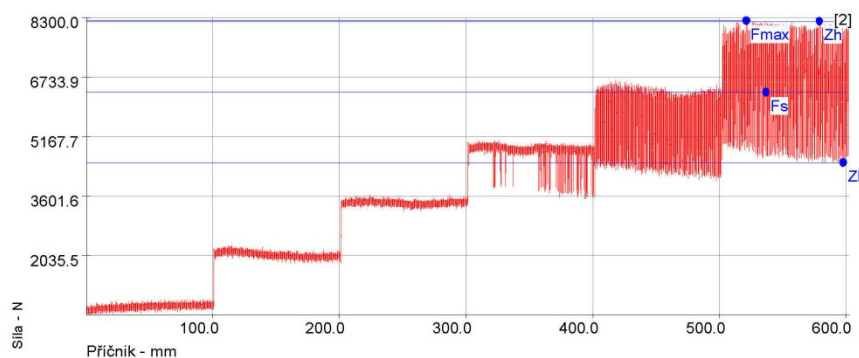
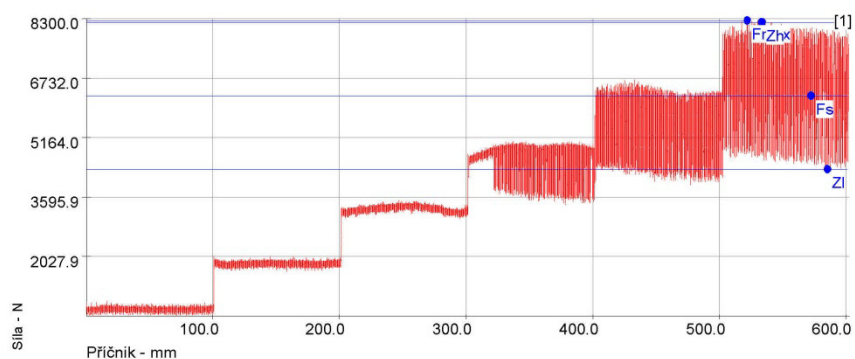
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	Anticorit PL 3802-39S	Kontaktní plocha :	20 mm x 20 mm
Množství maziva :	1,5 ± 0,1 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	Voest ZnMg 30% def.	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,93/1,88 μm PC=67/68 1/cm	Teplota :	60 °C
Materiál nástroje :	GGG 70L, nekaleno	Frekvence snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	8 - 83 MPa (á 15 MPa)	Měřená délka :	600 mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	Z _I N	Z _h N	Z _{max} N
1	8256	6261	4321	8201	3880
2	8220	6336	4471	8201	3730
x	8238	6298	4396	8201	3805
s	25.35	53.15	106.11	0.20	105.91



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum 24.5.2013

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copying Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date 24.5.2013

Signature